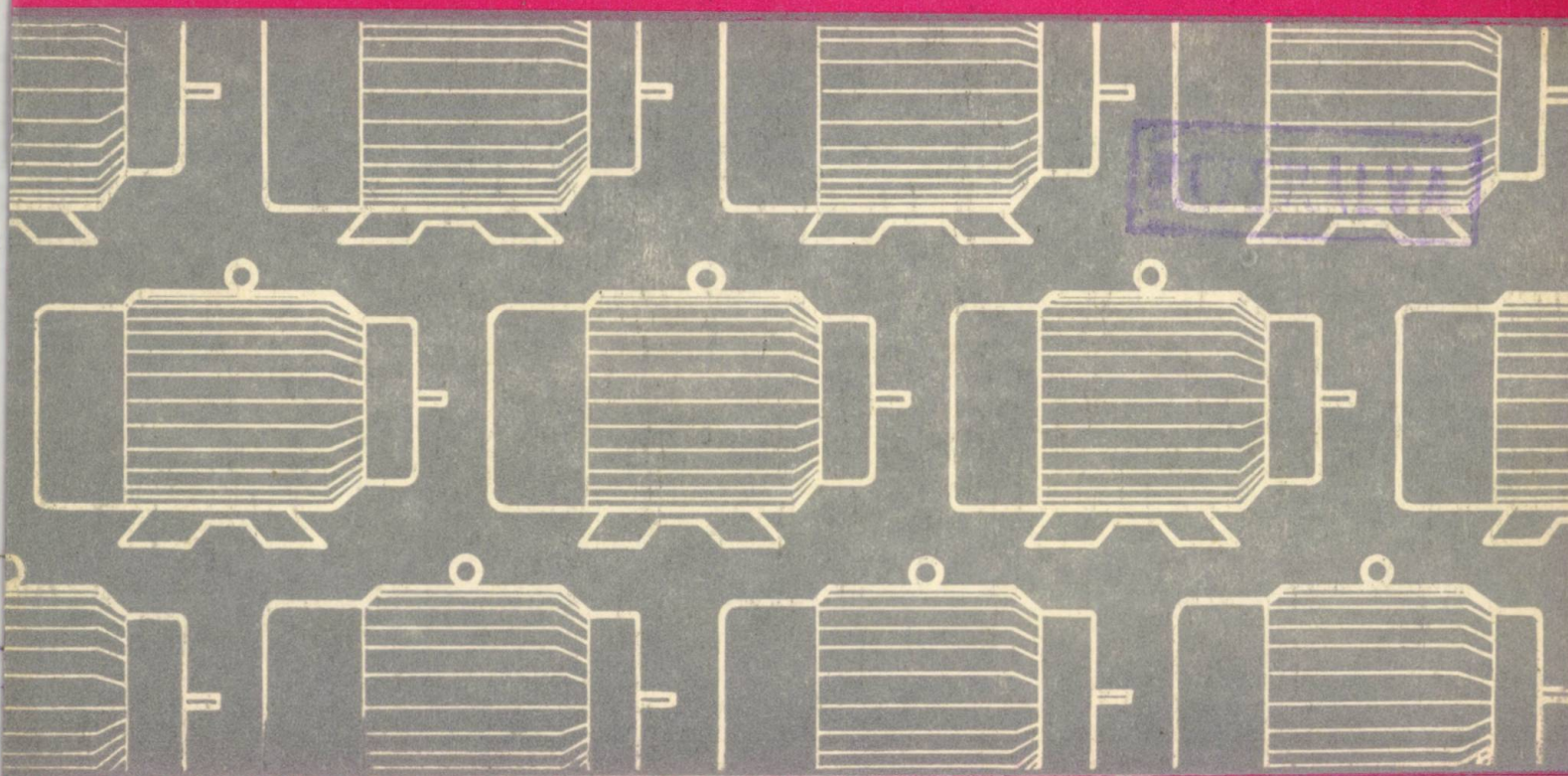
E 2040

R

ELECTROTEHNICA



ELECTROTEHNICA ● BUCUREŞTI ● ANUL 21 ● Nr. 1 ● IANUARIE 1973

1

I. P. R. S. Băneasa

REZISTOARE
- cu peliculă de carbon
- bobinate

TERMISTOARE
- ceramice

CONDENSATOARE
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
- normale
- miniatură
- nepolarizate

CONDENSATOARE CERAMICE
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

TRANZISTOARE
- de joasă frecvenţă
- de înaltă frecvenţă şi comutaţie
- de putere

DIODE
- de semnal şi comutaţie
- redresoare
- redresoare pentru curenţi mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 1, pag. 1—48 ian 1973

CUPRINS

CZ 621.3.014.31.001.25 : 621.3.064

Sasu Mimi : **Analiza stingerii şi reaprinderii unui arc electric cu reacţie modelat pe baza ecuaţiei lui Mayr.**

Electrotehnica 21, nr. 1, ian 1973, p. 1—10

Se prezintă o metodică de rezolvare pe calculator analogic a ecuaţiilor corespunzătoare unui arc electric cu reacţie. Descrierea matematică a arcului se face pe baza ecuaţiei diferenţiale neliniare a lui Mayr, scrisă în funcţie de conductanţa intervalului disruptiv. Se studiază condiţiile de reaprindere şi, separat, condiţiile de stingere ale unui arc electric de întrerupere. Se prezintă metoda de lucru utilizată şi se analizează rezultatele obţinute în cele două cazuri.

CZ 621.316.5 : 014.32 : 538.32

Herşcovici, B. : **O metodă sintetică indirectă pentru determinarea forţelor electrodinamice în căile de curent.**

Electrotehnica 21, nr. 1, ian 1973, p. 10—14

Lucrarea prezintă o metodă de investigaţie pentru determinarea indirectă a distribuţiei forţelor electrodinamice în căile de curent ale aparatelor de comutaţie de înaltă tensiune.

Metoda se bazează pe explorarea cu bobine-sondă a cîmpului magnetic în vecinătatea căilor de curent, realizînd apoi calculul distribuţiei forţelor electrodinamice pe baza datelor măsurate: se indică schemele de experimentare elaborate, ca şi limitele metodei. Este tratată, de asemenea, o aplicaţie la un separator de medie tensiune.

CZ 621.317.8.016.1.

Golovanov Carmen : **Asupra relaţiei de calcul al cuplului activ al contoarelor monofazate de inducţie.**

Electrotehnica 21, nr. 1, ian 1973, p. 15—23

Se prezintă sistematizat formele de calcul ale constantei care intervine în expresia cuplului activ pentru diferite configuraţii geometrice ale sistemului activ al controlului monofazat de inducţie.

Se determină o relaţie analitică de calcul al cuplului activ, integrînd ecuaţiile lui Maxwell în coordonate polare (r, φ), aproximînd forma polilor electromagneţilor de tensiune şi de curent cu patrulatere curbilinii. pe baza unor studii experimentale ale distribuţiei spaţiale a inducţiilor magnetice în întrefierul electromagneţilor de tensiune şi de curent ale unui contor monofazat de inducţie de fabricaţie Electromagnetica tip CAM-6.

CZ 621.318.33 Li

Nicolau, P., Klein. A. şi *Vărzaru Emilia* : **Ferite de litiu pentru memorii magnetice.**

Electrotehnica 21, nr. 1, ian 1973, p. 24—27

După ce se trec în revistă rezultatele pe plan mondial în domeniul feritelor de litiu pentru memorii magnetice, sînt prezentate cercetările proprii efectuate pentru obţinerea acestor ferite.

Din materialele prezentate s-au reţinut cele cu ciclu histerezis dreptunghiular şi cîmpuri coercitive cuprinse între 1,6 şi 48 A/m, avînd o bună stabilitate termică.

CZ 621.319.41.083.72

Râulescu, I. : **Funcţionarea intermitentă a condensatoarelor**

Electrotehnica 21, nr. 1, ian 1973, p. 27—33

Se prezintă solicitarea electrică şi termică realizată de impulsurile de încărcare — descărcare şi se justifică frecvenţa optimă de repetiţie pentru realizarea transferului maxim de putere reactivă la încercările de durată şi anduranţă ale condensatoarelor. Experimentările întreprinse pe condensatoare cu hîrtie metalizată arată utilitatea şi necesitatea numărării descărcărilor mari de autovindecare.

CZ 621.315.2.002/004

Cruceru, C. : **Tendinţe actuale în construcţia şi utilizarea cablurilor de energie şi telecomunicaţii utilizate în reţelele electrice de forţă şi de telecomunicaţii.**

Electrotehnica 21, nr. 1, ian. 1972, p. 33—42

Lucrarea prezintă tendinţele actuale în construcţia cablurilor de energie destinate reţelelor electrice în cablu, direcţiile de orientare a utilizării cablurilor electrice în sistemele electroenergetice şi de telecomunicaţii. Se pune accentul pe folosirea noilor tipuri de materiale electroizolante şi de protecţie a cablurilor precum şi pe eficienţa tehnico-economică a acestora.

Teze de doctorat 43—44
Recenzii 44
Referate 44—47
Scurte ştiri 48

Abonați-vă la reviste:
CONSTRUCȚIA DE MAȘINI
ELECTROTEHNICA
AUTOMATICA ȘI ELECTRONICA

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.014.31.001.25 : 621.3.064

Сасу Мими: **Анализ гашения и зажигания электрической моделированной дуги с реакцией на основе уравнения Майера.**

Electrotehnica 21, № 1, янв. 1973, стр. 1–10

Приводится методика решения на аналоговой вычислительной машине уравнений, соответствующих электрической дуге с реакцией. Математическое описание дуги проводится на основе дифференциального нелинейного уравнения Майера, записанного в зависимости от проводимости межэлектродного пространства. Описываются условия зажигания и, отдельно, условия гашения электрической выключающей дуги. Излагаются применяемые методы работы и анализируются результаты, полученные в этих двух случаях.

ДК 621.316.5 :014.32.538.32

Гершкович, Б. **Косвенный синтетический метод определения электродинамических сил в путях тока.**

Electrotehnica 21, № 1, янв. 1973, стр. 10–14

В работе описывается косвенный метод исследования распределения электродинамических сил по путям тока коммутационных аппаратов высокого напряжения.

Метод основывается на обследовании при помощи катушки — зонда магнитного поля вблизи путей тока, затем проводится расчет распределения электродинамических сил на базе полученных данных; приводятся разработанные экспериментальные схемы, а также и пределы метода. Рассматривается возможность применения для разъединителя среднего напряжения.

ДК 621.317.8.016.1

Голованов Кармен. **О соотношении расчета вращающегося момента промышленных однофазных счетчиков.**

Electrotehnica 21, № 1, янв. 1973, стр. 15–23

Приводятся систематизированные формулы расчета постоянной, входящей в выражение вращающегося момента для различных геометрических конфигураций активной системы однофазного индукционного счетчика. Определяется аналитическое соотношение расчета вращающегося момента, причем интегрируются уравнения Maxwell -а в полярные координаты (r, φ), и дается приближенная форма полюсов электромагнитов напряжения и четырехстороннего криволинейного тока; на основе экспериментальных исследований пространственного распределения магнитных индукций в междужелезном пространтсве электромагнитов напряжения и тока однофазного индукционного счетчика, продукции Электромагнетика, типа САМ—6.

ДК 621.318.33 Li

Николау, П., Клайн, А. и *Вэрзару Емилия.* **Литиевые ферриты для магнитной памяти.**

Electrotehnica 21, № 1, янв. 1973, стр. 24–27

После краткого обзора результатов, полученных в мировом масштабе в области литиевых ферритов для магнитной памяти, описываются собственные исследования в целях получения этих ферритов.

Из представленных материалов отмечаются ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса и коэрцитивными полями в пределах от 1,6 до 48 А/м, с хорошей термической устойчивостью.

ДК 621.319.41.083.72

Рэдулеску, И. **Прерывистая работа конденсаторлов.**

Electrotehnica 21, № 1, янв. 1973, стр. 27–33

Описывается электрическое и термическое напряжения, осуществляемые импульсами зарядки-разрядки и обосновывается оптимальная частота повторения для достижения максимальной реактивной мощности при испытаниях на длительность и выносливость конденсаторов. Опыты, проведенные на конденсаторах металлизированной бумагой отмечают целесообразность и необходимость подсчета крупных разрядок самоизлечения.

ДК 621.315.2.002/004

Кручеру, К. **Современные тенденции в конструкции и использовании электрических кабелей и кабелей связи, применяемых в силовых электрических сетях и сетях связи.**

Electrotehnica, 21, № 1, янв. 1973, стр. 33–42

ДОКТОРСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ 43–44
РЕЦЕНЗИИ 44
ДОКЛАДЫ 44–47
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ 48

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.014.31.001.25 :621.3.064

Sasu Mimi : **Analyse der Unterdrückung und Rückzündung eines Lichtbogens mit modellierter Reaktion aufgrund der Mayr-Gleichung**

Electrotehnica 21, H. 1, Jan. 1973, S. 1–10

Es wird die Lösungsmethode der entsprechenden Gleichungen eines Reaktionslichtbogens mit Hilfe eines Analogrechners dargelegt. Die mathematische Schilderung des Lichtbogens erfolgt aufgrund der nichtlinearen Mayr-Differentialgleichung, die im Verhältnis zum Wirkleitwert der Überschlagweite abgefasst wird. Es werden Rückzündungsbedingungen und gesondert die Unterdrückungsbedingungen eines Schaltlichtbogens untersucht. Abschliessend wird die angewandte Arbeitsmethode dargelegt und die, für beide Fälle erzielten Ergebnisse analysiert.

DK 621.316.5 :014.32.538.32

Herşcovici, B. : **Indirekte synthetische Methode zur Bestimmung der elektrodynamischen Kräfte in den Stromwegen**

Electrotehnica 21, H. 1, Jan. 1973, S. 10–14

Es wird eine Forschungsmethode zur indirekten Bestimmung der Verteilung elektrodynamischer Kräfte in den Stromwegen der Hochspannungsschaltgeräte dargelegt.

Die Methode beruht auf der Erforschung des Magnetfeldes im Umkreis der Stromwege mit Suchspulen, wonach die Verteilung der elektrodynamischen Kräfte aufgrund der gemessenen Werte berechnet wird. Es werden die entwickelten Testschaltungen, wie auch die Grenzbereiche der Methode angeführt und ein Anwendungsbeispiel für einen Mittelspannungstrennschalter gegeben.

DK 621.317.8.016.1

Golovanov Carmen : **Über die Berechnungsbeziehung des aktiven Drehmoments der Einphaseninduktionszähler**

Electrotehnica 21, H. 1, Jan. 1973, S. 15–23

In systematisierter Weise werden die Berechnungsformeln der Konstante dargelegt, die im Ausdruck des aktiven Drehmoments für verschiedene geometrische Konfigurationen des aktiven Systems des einphasischen Induktionszählers eingreifen. Es wird eine analytische Berechnungsbeziehung des aktiven Drehmoments ermittelt, indem die Maxwell-Gleichungen in die polaren Koordinaten (r, φ) eingegliedert werden. Die Form der Pole der Spannungs-und Stromelektromagneten mit krummliniegen Vierecken wird aufgrund experimenteller Studien der räumlichen Verteilung der Magnetinduktionen im Luftabstand der Spannungs-und Stromelektromagneten eines einphasigen Induktionszählers Typ CAM-6 Herstellerwerk Electromagnetica annähernd bestimmt.

DK 621.318.33 Li

Nicolau, P., Klein, A. und *Vărzaru Emilia* : **Lithiumferrite für Magnetspeicher**

Electrotehnica 21, H. 1, Jan. 1973, S. 24–27

Nach einer Übersicht über die, auf Weltebene erzielten Ergebnisse im Bereich der Lithiumferrite für Magnetspeicher, werden die eigenen Forschungen im Hinblick auf die Herstellung dieser Ferrite dargelegt. Von den angeführten Materialien wurden jene mit rechtwinkligem Hysteresizyklus und Koerzitivfeld zwischen 1,6 und 48 A/m, die eine gute Wärmebeständigkeit aufweisen, in Betracht gezogen.

DK 621.319.41.083.72

Rădulescu, I. : **Absatzweiser Betrieb der Kondensatoren**

Electrotehnica 21, H. 1, Jan. 1973, S. 27–33

Es werden die elektrischen und Wärmebelastung durch Lade-und Entladeimpulse dargelegt und die optimale Wiederholungsfrequenz für die Erzielung der maximalen Übertragung der Blindleistung bei Dauerversuchen der Kondensatoren rechtfertigt. Die Teste mit Kondensatoren aus metallisiertem Papier unterstreichen die Nützlichkeit und Notwendigkeit einer Zählung der grossen Wiederherstellungsentladungen.

DK 621.315.2.002/004

Cruceru, C. : **Gegenwartstendenzen in der Herstellung und Verwendung der Krafstrom-und Fernmeldekabeln für Kraftstrom und Fernmeldenetzen.**

Electrotehnica 21, H. 1, Jan. 1973, S. 33–42

Der Verfasser analysiert die Gegenwartstendenzen in der Herstellung der energetischen Kabel für elektrische Kabelnetze sowie die Ausrichtung in der Verwendung dieser Kabel in Kraftstrom-und Fernmeldenetzen. Besonderes Gewicht wird auf die Verwendung der neuen Isolationsstoffe und Schutzmittel für Kabel und auf deren technischen und wirtschaftlichen Wirkungsgrad gelegt.

Dissertationen 43–44
Buchbesprechungen 44
Referate 44–47
Kurzmeldungen 48

CONTENTS

DC: 621.9.014.31.001.25 : 621.3.064

Sasu Mimi : **Analysis of arc suppression and arc-back Cased on Mayr equation.**

Electrotehnica 21, No. 1 Jan 1973, p. 1–10

The paper presents a method of resolving the equations corresponding to a reaction arc, using an analogue computer. The mathematical description of the arc is based on Mayr's non-linear differential equation, written as a function of the disruptive distance conductance. The author studies the arc suppression and arc-back conditions, saparately. After the description of the warking method, the results achieved in both cases arc presented.

CZ 621.316.5.014.32 : 538.32

Herşcovici, B. : **An indirect synthetic method of determining electrodynamic forces in current circuits.**

Electrotehnica 21, No.1 Jan, 1973, p. 10–14

The paper presents an indirect method of determining the distribution of electromagnetic forces in the current circuits of high voltage commutation apparatuses.

The method is based an the scanning of the magnetic field in the vicinity of current circuits — carried out with exploring coils and the calculation of the electrodynamic forces distribution based on the measured data ; the study describes the experimental diagrams worked out indicating the limits of the method. An example of the method applied to a medium voltage separator is supplied.

DC 621.317.8.016.1

Golovanov Carmen : **About the calculus relation of the driving torque of industrial single-phase counters.**

Electrotehnica 21, No. 1, Jan 1973, p. 15–23

The author presents systematically the calculation formulas of the calculation formulas of the constant which appears in the expression of the driving torque in different geometrical configurations of the active system of the single-phase induction counter. One determines an analytical calculus relation of the driving torque, integrating Maxwell'aquations in polar co-ordinates (r, φ), approximating the form of the voltage and current poles of the electromagnets to curvilinear quadrangles. The calculation is based on experimental studies of the spatial distribution of the magnetic induction occurring in the air gap of the voltage and current electromagnets of a CAM-6 type single-phase induction counter turned aut by „Electromagnetica works".

DC 621.318.33 Li

Nicolau, P. Klein, A. and *Vărzaru Emilia* : **Lithium ferrites for magnetic memories**

Electrotehnica 21, No. 1, Jan. 1973, p. 24–27

After reviewing the results achieved in the field of lithium ferrites for magnetic memories, in the world, the authors present own research in view of obtaining these ferrites. Out of the different materials presented, the authors recommend those with rectangular hysteresis loop and coercive fields ranging between 2 and 6 Oe, which show good thermal stability.

DC. 621.319.41.083.72

Râulescu, I. : *Intermittent operation of condensers.*

Electrotehnica 21, No. 1, Jan, 1973, p. 27–33

The paper describes the electrical and thermal stress brought abaut by the loading — unloading pulses, justifying the optimum repetition frequency for the achievement of maximum reactive power transfer in life and reliability testings of capacitors. The experiments conducted with metallized paper condensers have demonstrated the utility and necesity of counting the high seef-healing discharges.

DC 621.315.2.002/004

Cruceru, C. : **Present trends in the manufacture and utilization of power and telecommunication cables for electric power and telecommunication networks.**

Electrotehnica 21, No. 1, Jan. 1973, p. 33–42

The paper descriebes the present trends in the manufacture of power cables designed for grids and the utilization of these cables in electric power and telecommunication networks. Stress is laid on the use of new types of electro-insulating and protection materials and on their technical-economic efficiency.

Book review 43–44
Reviews 44
Reports 44–47
News in brief 48

SOMMAIRE

CD 621.3.014.31.001.25 : 621.3.064

Sasu Mimi : **L'analyse de l'extinction et du réallumage d'un arc électrique à réaction, modélé à base de l'équation de Mayr.**

Electrotehnica 21, no. 1, jan. 1973, p. 1–10

On présente une méthodique pour la solution, sur un calculateur analogique, des équations se rapportant à un arc électrique à réaction. La description mathématique de l'arc est basée sur l'équation différentielle non-linéaire de Mayr, écrite en fonction de la conductance de l'intervale disruptif. On étudie les conditions de réallumage, et, séparément, les conditions de l'extinction d'un arc électrique d'interruption. On présente la méthode de travail utilisée et l'on analyse les résultats obtenus dans les deux cas.

CD 621.316.5 : 010.32.538.32

Herşcovici, B. : **Une méthode synthétique indirecte pour la détermination des forces électrodynamiques dans les voies de courant.**

Electrotehnica 21, no. 1, jan. 1973, p. 10–14

L'ouvrage présente une méthode d'investigation pour la détermination indirecte de la distribution des forces électrodynamiques dans les voies de courant des appareils de commutation de haute tension.

La méthode est basée sur l'exploration, avec une bobine-sonde, du champ magnétique dans le voisinage des voies de courant, réalisant ensuite le calcul de la distribution des forces électrodynamiques à base des données mesurées ; on indique les schémas d'expérimentation qui ont été élaborés, ainsi que les limites de la méthode. On traite aussi une application à un séparateur de tension moyenne.

CD 621.317.8.016.1

Golovanov Carmen : **Considérations concernant la relation de calcul du couple actif des compteurs monophasés d'induction.**

Electrotehnica 21, no. 1 jan. 1973, p. 15–23

On présente, d'une manière sistématisée, les formules de calcul de la constante qui intervient dans l'expression du couple actif, pour différents configurations géométriques du système actif du compteur monophasé d'induction. On détermine une relation analytique de calcul du couple actif, en intégrant les équations de Maxwell dans des coordonnées polaires (r, φ), tout en aproximant la forme des pôles des aimants électriques de tension et de courant à quadrilatères curbilignes, en se basant sur certaines études expérimentales de la distribution spatiale des inductions magnétiques dans l'entrefer des aimants électriques de tension et de courant d'un compteur monophasé d'induction, fabriqué par l'entreprise „Electromagnetica", du type CAM-6.

CD 621.318.33. Li

Nicolau, P., Klein, A. et *Vărzaru Emilia* : *Ferrites de lithium pour mémoires magnétiques.*

Electrotehnica 21, no. 1, jan. 1973, p. 24–27

Après avoir en revue les résultats, sur le plan mondial dans le domaine des ferrites de lithium pour les mémoires magnétiques, on présente les recherches propres aux auteurs, effectuées en vue de l'obtention de ces ferrites. On a retenu, parmi les matériaux présentés, ceux à cycle d'hystérésis quadrangulaire et à champs coërcitifs compris entre 2 et 6 Ce, ayant une bonne stabilité thermique.

CD 621.319.41.083.72

Râulescu, I. : **Le fonctionnement intermittent des condensateurs.**

Electrotehnica 21, no. 1, jan. 1973, p. 27–33

On présente la sollicitation électrique et thermique réalisée par les impulsions de charge-décharge et on justifie la fréquence optima de répétition pour la réalisation du transfert maximum de puissance réactive lors des essais de durée et d'endurance des condensateurs. Les expérimentations entreprises sur des condensateurs à papier métalisé montrent l'utilité et la nécessité de compter les grandes décharges de...

CD 621.315.2.002/004

Cruceru, C. : **Tendances actuelles dans la construction et l'utilisation des câbles d'énergie et de télécommunications, utilisés dans les réseaux électriques de force et de télécommunications.**

Electrotehnica 21, no. 1, jan. 1973, p. 33–42

On présente dans cet ouvrage les tendances actuelles dans la construction des câbles d'énergie, destinés aux réseaux électriques en cable, les directions d'orientation de l'utilisation des câbles électriques dans les systèmes électroénergétiques et de télécommunication. On met l'accent sur l'utilisation des nouveaux types de matériaux électroisolants et de protection des câbles, ainsi que sur l'efficience technique et économique de ces derniers.

Thèses de doctorat 43–44
Comptes-rendus 44
Référats 44–47
Brèves communications 48

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI-UNELTE ȘI ELECTROTEHNICII ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ȘI PUBLICAȚII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 nr. 1 București, ianuarie 1973

Analiza stingerii și reaprinderii unui arc electric cu reacție modelat pe baza ecuației lui Mayr

MIMI SASU*— București

CZ 621.3.014.31.001.25:621.3.064

1. Scopul lucrării

Pentru descrierea comportării dinamice a unui arc electric de curent alternativ se pot folosi diferite modele matematice [1], dintre care mai cunoscute sînt cele care se bazează pe procesele fizice care au loc în plasma arcului.

Cercetarea care a stat la baza acestei lucrări a avut în vedere, în primul rînd, să stabilească o metodică optimă de modelare pe un calculator analogic a unui arc electric cu reacție descris de ecuația diferențială neliniară a lui Mayr. În acest scop s-a presupus că în timpul existenței arcului electric, circuitul în care este conectat întreruptorul se închide prin conductanța arcului.

Înregistrările obținute în urma rezolvării pe calculator a sistemului de ecuații format din ecuația arcului și ecuațiile diferențiale ale circuitului întrerupt permit să se vadă modul cum variază, în funcție de timp, diferite mărimi electrice caracteristice procesului de întrerupere. S-au studiat atît condițiile de reaprindere cît și condițiile de stingere definitivă ale arcului. În fiecare din aceste cazuri se prezintă metoda de lucru utilizată și se analizează rezultatele obținute.

2. Scrierea relațiilor de calcul

Analiza comportării dinamice a unui arc electric cu reacție se poate face rezolvînd sistemul de ecuații format din ecuația arcului și ecuațiile circuitului. În cercetarea care a stat la baza acestei lucrări, pentru descrierea matematică a arcului electric s-a utilizat ecuația diferențială neliniară a lui Mayr [2]:

$$\frac{1}{i}\frac{di}{dt}-\frac{1}{u}\frac{du}{dt}=\frac{1}{\nu}\frac{ui-P_0}{P_0} \qquad (1)$$

în care i și u sînt valorile instantanee ale curentului și tensiunii de arc, ϑ reprezintă constanta de timp termică a arcului iar P_0, puterea disipată de arc, prin conducție termică, în regim staționar.

În figura 1 este reprezentat unul din circuitele posibile de întrerupere ale unui arc electric de curent alternativ. Dacă se aplică teoremele lui Kirchhoff circuitului din figura 1a, în varianta din figura 1 b în care s-a presupus că

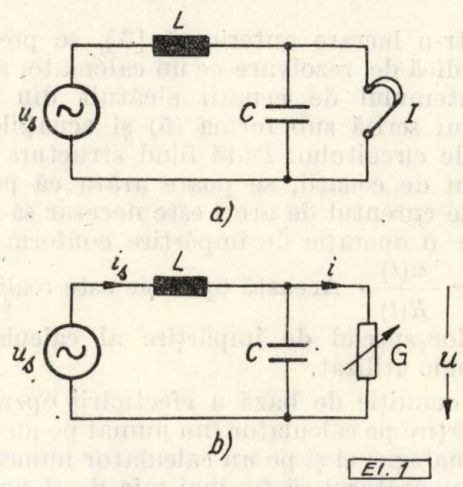


Fig. 1. Circuitul de întrerupere al unui arc electric de curent alternativ.

circuitul se închide printr-un arc electric de conductanță $G(t)$, se obțin următoarele două ecuații diferențiale

$$L\frac{di_s}{dt}+u=u_s \qquad (2)$$

$$C\frac{du}{dt}+i=i_s \qquad (3)$$

unde

$$u_s=\sqrt{2}U=\hat{U}\cos\omega t \qquad (4)$$

---

* Ing. *Mimi Sasu* este cercetător științific principal la Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.) — București.

reprezintă tensiunea alternativă a sursei. Circuitul de întrerupere considerat fiind inductiv, s-a presupus că între curentul i_s prin circuit și tensiunea u_s a sursei există un defazaj de $\pi/2$. Ca urmare a acestui defazaj, în zona din vecinătatea trecerii curentului prin zero, zonă în care există condiții pentru decontarea circuitului, tensiunea alternativă u_s poate fi înlocuită cu valoarea sa maximă $\hat{U} = \sqrt{2}\, U =$ constant.

Dată fiind neliniaritatea ecuației (1), rezolvarea sistemului de ecuații care rezultă prin cuplarea ecuațiilor (1), (2) și (3) implică în mod necesar utilizarea unui calculator electronic. Se pot obține astfel funcțiile – soluții i_s (t), i (t) și u (t).

Dacă se dorește să se obțină mai multe informații referitor la arcul electric de întrerupere, respectiv dacă interesează nu numai caracteristicile de variație în timp ale curentului și tensiunii de arc, ci și modul de variație al rezistenței arcului după trecerea prin zero a curentului întrerupt, atunci este indicat ca ecuația (1) să fie scrisă sub alte forme.

Considerînd rezistența de arc definită de relația $R = R(t) = \dfrac{u(t)}{i(t)}$, ecuația lui Mayr devine

$$-\frac{\mathrm{d}}{dt} \ln R = \frac{1}{\vartheta}\left(\frac{ui}{P_0} - 1\right). \qquad (5)$$

Într-o lucrare anterioară [3], se prezintă o metodică de rezolvare pe un calculator analogic a sistemului de ecuații alcătuit din ecuația arcului scrisă sub forma (5) și ecuațiile (2) și (3) ale circuitului. Dată fiind structura acestui sistem de ecuații, se poate arăta că pentru a obține curentul de arc i este necesar să se efectueze o operație de împărțire conform relației $\mathrm{i(t)} = \dfrac{u(t)}{R(t)}$. Această operație este realizată de un bloc special de împărțire al calculatorului analogic utilizat.

O condiție de bază a efectuării operației de împărțire pe calculator (nu numai pe un calculator analogic, ci și pe un calculator numeric) este ca numărătorul să fie mai mic decît numitorul pe toată durata calculului. În cazul de față, aceasta revine la a asigura condiția $u < R$. Acest lucru este destul de dificil de realizat deoarece precizia de calcul a blocului neliniar de împărțire este cu atît mai bună cu cît nivelul semnalelor la intrarea lui este mai mare. În consecință, nu este convenabil să se acționeze în sensul micșorării semnalului corespunzător tensiunii u și, pe de altă parte, mărirea semnalului corespunzător rezistenței R nu se poate face decît în limitele de funcționare ale calculatorului. Dificultățile cresc atunci cînd, așa cum a fost cazul în lucrarea citată, se studiază un număr mare de variante.

Avînd în vedere aceste lucruri, autorul a încercat să stabilească o altă metodică de rezolvare pe calculator analogic a ecuațiilor corespunzătoare unui arc electric cu reacție. În acest scop, ecuația diferențială neliniară (1) a lui Mayr a fost scrisă sub forma

$$\frac{\mathrm{d}}{dt} \ln G = \frac{1}{\vartheta}\left(\frac{ui}{P_0} - 1\right) \qquad (6)$$

în care $G = G(t) = \dfrac{i(t)}{u(t)}$ reprezintă conductanța arcului electric ce se stabilește între contactele întreruptorului I din figura 1, în momentul apariției scurtcircuitului. În aceste condiții, curentul de arc i este dat de relația $i(t) = G(t)u(t)$. S-a eliminat astfel necesitatea blocului împărțitor și a inconvenientelor legate de utilizarea lui.

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații format din ecuația (6) a arcului electric și ecuațiile (2) și (3) ale circuitului de întrerupere din figura 1 s-a utilizat un calculator analogic MEDA 81 T.

3. Stabilirea modelului matematic și a schemei de calcul.

3.1. Modelul matematic de bază

Pornind de la relațiile de calcul formulate mai înainte s-a întocmit următorul model matematic de bază:

$$\begin{cases} \dfrac{d\ln G\,(t)}{dt} = -\dfrac{1}{\vartheta} + \dfrac{1}{\vartheta\, P_0}\, p(t) & (a) \\[2ex] \dfrac{\mathrm{d}\,(G)\;(t)}{dt} = G(t)\, \dfrac{d\ln G\,(t)}{dt} & (b) \\[2ex] \dfrac{di_s\,(t)}{dt} = \dfrac{\hat{U}}{L} - \dfrac{1}{L}\, u\,(t) & (c) \\[2ex] \dfrac{du\;(t)}{dt} = \dfrac{1}{C}\, i_s\,(t) - \dfrac{1}{C}\, i\;(t) & (d) \\[2ex] i\;(t) = G\,(t)\, u\,(t) & (e) \\[2ex] p\;(t) = u\;(t)\, i\;(t) & (f) \end{cases} \qquad (7)$$

A rezultat un sistem de ecuații mixt, format atît din ecuații diferențiale, liniare și neliniare, cît și din ecuații diferențiale. Astfel, ecuațiile (e) și (f) reprezintă relații de legătură introduse pentru a obține caracteristicile de variație în timp ale curentului de arc și ale puterii dezvoltate în arc. În ceea ce privește ecuațiile (a) și (b), evident că ele pot fi contractate într-una singură. S-a preferat însă acest mod de scriere, deoarece

s-a urmărit să se obțină variația mărimii $\frac{d \ln G}{dt}$ în funcție de puterea p a arcului. Așa cum se poate vedea din structura ecuației (a), într-o diagramă care ar avea pe ordonată mărimea $\frac{d \ln G}{dt}$ și pe abscisă, puterea p a arcului, ecuația (a) ar fi reprezentată printr-o dreaptă. Intersecția acestei drepte cu axa absciselor ar fi egală cu puterea P_0 disipată de arc în regim staționar, iar intersecția cu axa ordonatelor ar reprezenta inversa constantei de timp ϑ.

Dacă se presupune că arcul a existat una sau mai multe semiperioade și se notează cu t_0, momentul ultimei treceri prin zero a curentului întrerupt, condițiile inițiale ale ecuațiilor diferențiale (b), (c) și (d) din sistemul (10) se pot scrie sub forma :

$$G(t_0+) = G_0\,; \quad i_s\,(t_0+) = 0\,; \quad u(t_0+) = 0 \qquad (8)$$

unde G_0 reprezintă valoarea conductanței arcului la trecerea curentului prin zero.

Pentru transpunerea modelului matematic (7) pe calculatorul analogic sînt necesare o serie de blocuri operaționale, conectate conform schemei de calcul din figura 2. În vederea asigurării unei funcționări corecte a celor trei blocuri de înmulțire care intră în componența schemei de modelare este necesar ca la intrările lor să se aplice semnale avînd nivele ridicate și polarități convenabile. Din această cauză, modelul electronic realizat cu ajutorul calculatorului analogic pentru rezolvarea sistemului de ecuații (7) este întrucîtva mai complicat decît schema logică de calcul prezentată în figura 2.

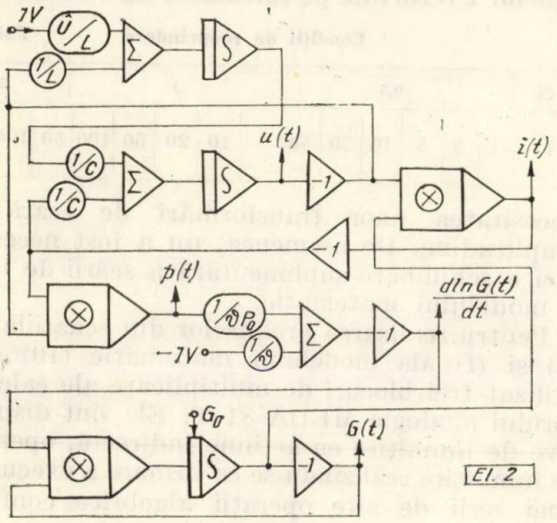


Fig. 2. Schema de modelare a arcului electric descris prin ecuația lui Mayr.

3.2. *Modelul matematic pentru calculator*

Soluțiile sistemului de ecuații (7) depind de parametrii ϑ și P_0 ai arcului electric și de parametrii $\hat{U}$, L și C ai circuitului de întrerupere. Deoarece prin studiul efectuat s-a căutat să se determine valorile parametrilor care conduc la reaprinderea și respectiv, la stingerea arcului într-o serie mare de variante, s-a dovedit rațional să se reducă numărul parametrilor impuși. Simplificarea sistemului de ecuații s-a realizat prin normarea lui, operația de normare prezentînd avantajul de a permite tratarea mai multor cazuri practice pe baza unui singur exemplu de calcul.

Dacă se folosesc mărimile normate :

$$\tau = \frac{t}{\sqrt{L\,C}}\,; \quad \overline{G} = G\sqrt{L/C}\,; \quad \overline{u} = \frac{u}{\hat{U}} \qquad (9)$$

$$\overline{i}_s = \frac{i_s}{\frac{\hat{U}}{\sqrt{L/C}}}\,; \quad \overline{i} = \frac{i}{\frac{\hat{U}}{\sqrt{L/C}}}\,; \quad \overline{p} = \frac{p}{\frac{\hat{U}^2}{\sqrt{L/C}}},$$

se obține următorul sistem de ecuații :

$$\left|\begin{array}{ll} \dfrac{\mathrm{d} \ln \overline{G}\,(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = -\,a + b\,\overline{p}\,(\tau) & \text{(a)} \\[2ex] \dfrac{d\,\overline{G}\,(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = \overline{G}\,(\tau)\,\dfrac{\mathrm{d} \ln \overline{G}\,(\tau)}{d\tau} & \text{(b)} \\[2ex] \dfrac{d\overline{i}_s\,(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = 1 - \overline{u}\,(\tau) & \text{(c)} \\[2ex] \dfrac{d\overline{u}\,(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = \overline{i}_s\,(\tau) - \overline{i}\,(\tau) & \text{(d)} \\[2ex] \overline{i}\,(\tau) = \overline{G}\,(\tau)\,\overline{u}\,(\tau) & \text{(e)} \\[2ex] \overline{p}\,(\tau) = \overline{u}\,(\tau)\,\overline{i}\,(\tau). & \text{(f)} \end{array}\right. \qquad (10)$$

Sistemul de ecuații (10) scris în mărimi relative depinde numai de constantele a și b, cu care s-au notat expresiile

$$a = \frac{\sqrt{L\,C}}{\tau}\,; \quad b = \frac{\hat{U}^2\,C}{P_0\,\tau} \qquad (11)$$

Parametrii a și b sînt determinați deci de constantele arcului electric și de elementele circuitului de întrerupere. Soluțiile obținute prin rezolvarea pe calculator a ecuațiilor sistemului vor fi valabile în toate cazurile în care parametrii arcului și ai circuitului conduc la aceleași valori pentru cei doi parametri normați.

Dacă se introduce și puterea de scurtcircuit $P_{sc} = \hat{U}^2/\omega L$ în care ω reprezintă pulsația tensiunii alternative a sursei, constanta b se mai poate scrie de asemenea sub forma [4] :

$$b = \frac{P_{sc}\,\omega\,L\,C}{P_0\,\vartheta}$$

Parametrii a și b oferă deci o indicație asupra duratei de creștere a tensiunii tranzitorii de restabilire (proporțională cu $\sqrt{LC}$) și asupra puterii de scurtcircuit (proporțională cu $\hat{U}^2$).

Rescriind și condițiile (8) în mărimi normate, rezultă

$$\overline{G}(\tau_0+) = \overline{G}_0 ; \overline{i}_s(\tau_0+) = 0 ; \overline{u}(\tau_0+) = 0. \quad (12)$$

În ipoteza că sistemul de ecuații (10), scris în mărimi normate, poate fi transpus pe calculatorul analogic fără a mai fi necesare alte transformări de scară de timp și de amplitudine decît cele realizate în mod implicit prin operația de normare, el constituie chiar modelul pentru calculator, iar mărimile normate ale modelului matematic vor fi egale cu mărimile-calculator.

În ceea ce privește schema logică de calcul corespunzătoare sistemului de ecuații (10), nu mai este necesar să se reprezinte deoarece, în esență, diferă de schema de modelare din figura 2 numai prin coeficienții de la intrarea sumatoarelor și evident, prin faptul că toate mărimile de calcul sînt normate.

4. Datele de calcul, metoda de lucru și rezultatele obținute.

În primul rînd s-a avut în vedere posibilitatea comparării nu numai calitative, ci și cantitative, a celor două metode propuse de autor pentru modelarea pe calculator analogic a unui arc electric cu reacție descris de ecuația lui Mayr : pe baza rezistenței de arc R și respectiv, pe baza conductanței G a arcului. În acest scop, pentru a putea face o comparație cu rezultatele obținute în cazul utilizării ecuației lui Mayr scrisă în funcție de rezistența arcului [3], în cercetarea care a stat la baza prezentei lucrări s-au considerat aceleași condiții inițiale și s-au studiat aproximativ aceleași variante.

Astfel, s-a pornit de la relațiile de definire a rezistenței normate [3] și a conductanței normate

$$\overline{R} = \frac{R}{\sqrt{L/C}} ; \quad \overline{G} = G\sqrt{L/C} \quad (13)$$

Pentru a avea aceleași condiții inițiale s-a presupus

$$\overline{G}_0 = \frac{1}{\overline{R}_0} \quad (14)$$

și întrucît valoarea rezistenței normate în momentul trecerii prin zero a curentului întrerupt era $\overline{R}_0 = 0{,}05$, valoarea conductanței normate la zeroul curentului a rezultat $\overline{G}_0 = 20$.

Deoarece valoarea inițială a conductanței depășește unitatea calculatorului analogic utilizat ($\pm$ 10 V), a apărut necesitatea utilizării unei transformări de scară de amplitudine în cazul particular al variabilei normate $\overline{G}$ (τ) din modelul matematic (10). Transformarea de scară utilizată este de tipul

$$\widetilde{G}(\tau) = K_G \overline{G} (\tau) \quad (15)$$

unde :

$\overline{G}(\tau)$ = conductanța normată din modelul matematic ;

$\widetilde{G}(\tau)$ = mărimea-calculator corespunzătoare variabilei $\overline{G}$ (τ) ;

K_G = coeficientul scării de amplitudine.

În continuare se prezintă datele de calcul, metoda de lucru și rezultatele obținute în cele două cazuri extreme analizate : reaprinderea arcului și respectiv, stingerea definitivă a acestuia.

4.1. Analiza condițiilor de reaprindere

a) Datele de calcul și metoda de lucru. Datele de calcul considerate pentru studiul condițiilor de reaprindere ale arcului electric sînt prezentate în tabelul 1. Întrucît s-a avut în vedere obținerea unor condiții sigure de reaprindere, valorile alese pentru parametrii a și b din modelul matematic (10) îndeplinesc condiția $b > a$ [3] în toate cele 14 variante studiate pe calculatorul analogic.

Ținînd seama de alura posibilă de variație al conductanței unui arc electric în cazul reaprinderii sale, s-a ales pentru coeficientul scării de amplitudine al conductanței valoarea $K_G = 0{,}1$. Pentru celelalte variabile normate ale modelului matematic (10), în nici una din variantele din tabelul 1 rezolvate pe calculator nu s-a constatat

Condiții de reaprindere *Tabela 1*

a	0,5						1					2		
b	1	2	5	10	20	50	5	10	20	50	100	50	100	200

necesitatea unor transformări de scară de amplitudine. De asemenea, nu a fost necesară nici o schimbare suplimentară a scării de timp a modelului matematic.

Pentru realizarea produselor din ecuațiile (b), (e) și (f) ale modelului matematic (10) s-au utilizat trei blocuri de multiplicare ale calculatorului analogic MEDA 81 T. Ele sînt dispozitive de înmulțire cu acțiune indirectă, operația de înmulțire realizîndu-se ca urmare a executării unei serii de alte operații algebrice conform relației

$$xy = \frac{1}{4}[(x+y)^2 - (x-y)^2]. \quad (16)$$

În acest fel operația de înmulțire se înlocuiește prin operații algebrice de adunare și ridicare la pătrat. Ca urmare, pentru realizarea operației

de înmulțire se utilizează elemente de calcul liniare pentru însumare și schimbarea semnului și două transformatoare funcționale cu diode care să realizeze ridicarea la pătrat.

Schema de conectare a fiecăruia dintre cele trei blocuri de multiplicare în schema generală de calcul din figura 2 necesită de fapt încă trei amplificatoare operaționale de inversare. Două dintre ele sînt astfel conectate încît la intrările unui bloc de înmulțire să se aplice simultan, pe canale diferite, ambele polarități ale fiecăruia dintre cele două semnale de intrare. Cel de al treilea inversor servește pentru a asigura o impedanță mare la ieșirea comună a celor două convertizoare funcționale cu diode, condiție impusă de principiul lor constructiv.

În cazul aplicării unor semnale egale fiecare cu unitatea calculatorului la intrările unui bloc de multiplicare, semnalul de ieșire nu este permis să depășească unitatea calculatorului. De aceea, blocurile de înmulțire ale calculatorului MEDA 81 T sînt astfel realizate încît să furnizeze la ieșire un semnal de 10 ori mai mic decît rezultatul efectiv al înmulțirii. Aceasta impune o corecție, care se poate face operînd fie asupra rezultatului final, fie asupra tensiunilor care se înmulțesc. Măsurătorile efectuate cu ajutorul unui voltmetru electronic asupra semnalelor care se aplică la intrările celor trei blocuri de multiplicare în decursul rezolvării modelului matematic (10) în toate variantele de calcul din tabelul 1, au condus la concluzia că este mai adecvat să se multiplice în mod corespunzător semnalele de intrare.

De asemenea, s-au luat măsuri pentru a asigura un nivel ridicat al semnalelor de la intrările fiecărui bloc de multiplicare, în vederea obținerii unei precizii cît mai bune de calcul. Pe baza măsurătorilor efectuate, s-au stabilit pe cale experimentală valorile coeficienților cu care este indicat să se înmulțească fiecare dintre semnalele de intrare ale celor trei blocuri de multiplicare din schema de modelare, în toate variantele de calcul, pentru a se obține tensiuni de semnal apropiate ca valoare de unitatea calculatorului. Evident că pentru a asigura în același timp exactitatea rezultatului final al operației de înmulțire, semnalul obținut la ieșirea multiplicatorului în fiecare variantă de calcul a fost înmulțit cu un coeficient a cărui valoare s-a determinat în funcție de valorile coeficienților cu care erau afectate semnalele de la intrările blocului de multiplicare.

Legătura dintre nivelul semnalelor aplicate la intrările multiplicatorului și precizia de rezolvare a operației de înmulțire derivă din însuși principiul de realizare al unui transformator funcțional cu diode. Erorile specifice ale unui asemenea dispozitiv sînt cauzate pe de o parte de aproximarea funcției pătratice printr-o caracteristică formată din linii frînte și pe de altă parte, de imprecizia de generare a acestei caracteristici [5], [6]. Erorile de primul tip scad cu pătratul numărului de segmente și sînt în cea mai mare măsură neglijabile. În schimb, erorile de-al doilea tip devin mai evidente în cazul multiplicării unor semnale mici, deoarece eroarea relativă poate atinge valori inadmisibile.

Deși multiplicatoarele cu diode nu sînt atît de precise ca de exemplu servomultiplicatoarele cu chopper, s-a preferat utilizarea lor deoarece nu au limitări în ceea ce privește frecvența de răspuns. La un servomultiplicator, viteza cu care cursorul unui potențiometru poate urmări schimbările tensiunii de intrare este limitată de inerția servomotorului. În cazul multiplicatorilor cu diode nu apar astfel de limitări.

b) Rezultatele obținute în cazul reaprinderii arcului. Rezolvarea pe calculator analogic a sistemului de ecuații (10) a permis obținerea caracteristicilor de variație în timp ale variabilelor modelului matematic analizat. Dintre soluțiile furnizate de calculator în cele 14 variante de calcul, în lucrarea de față se prezintă sub forma unor familii de caracteristici soluțiile corespunzătoare variantelor $a = 1$ și $b = 5 - 100$. S-au ales aceste variante pentru a se putea face o comparație directă cu rezultatele prezentate în lucrarea [3].

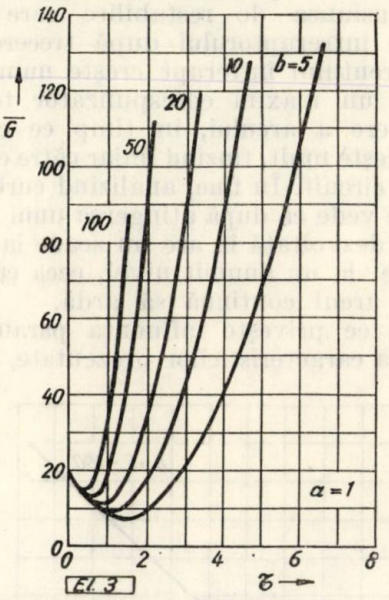


Fig. 3. Variația în timp a conductanței arcului electric, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul reaprinderii.

În figurile 3 — 6 sînt redate înregistrările obținute pentru conductanța $\overline{G}(\tau)$, tensiunea $\overline{u}(\tau)$, curentul $\overline{i}(\tau)$ și puterea $\overline{p}(\tau)$ după trecerea prin zero a curentului întrerupt. Astfel, în figura 3 se poate vedea cum imediat după „zeroul" curentului, conductanța arcului începe să scadă. Ea nu scade însă pînă la zero, ceea ce ar echivala cu stingerea definitivă a arcului; după atingerea unui minim, conductanța crește spre valori foarte mari. Alurile de variație ale conductanței arcului în funcție de timp prezentate în figura 3

pot fi considerate tipice pentru fenomenul de reaprindere al unui arc electric.

Același lucru se poate spune și despre caracteristicile de variație în timp ale tensiunii și ale

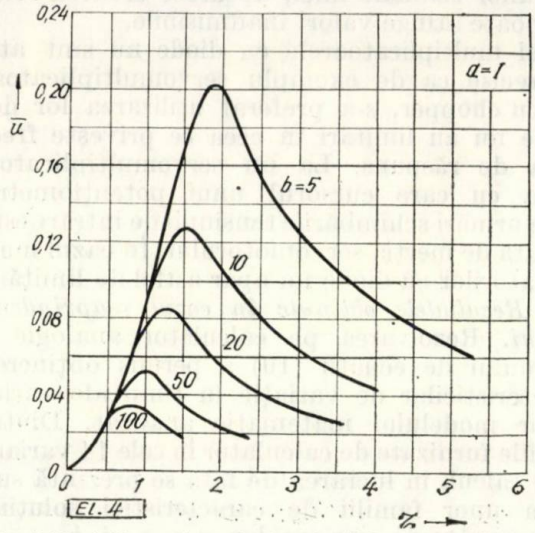


Fig. 4. Variația cu timpul a tensiunii de arc, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul reaprinderii.

curentului de arc prezentate în figurile 4 și 5. Astfel, tensiunea de restabilire care apare la bornele întreruptorului după trecerea prin zero a curentului întrerupt crește numai pînă ajunge la un maxim corespunzător tensiunii de aprindere a arcului, în timp ce curentul post-arc crește mult, tinzînd liniar către curentul total prin circuit. În fine, analizînd curbele din figura 6 se vede că după atingerea unui maxim, puterea p dezvoltată în arc nu scade la zero ci se menține la un anumit nivel, ceea ce atestă faptul că arcul continuă să ardă.

În ceea ce privește influența parametrului „b" asupra caracteristicilor prezentate, se vede

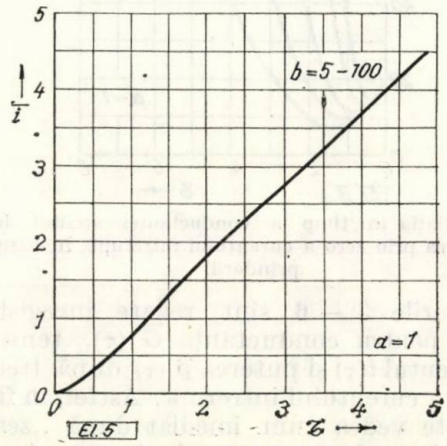


Fig. 5. Variația în timp a curentului de arc, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul reaprinderii.

că după momentul trecerii prin zero a curentului întrerupt conductanța $\bar{G}(\tau)$ scade cu atît mai puțin și crește apoi cu atît mai repede cu cît b este mai mare. Altfel spus, rezultă că arcul electric se va reaprinde cu atît mai ușor, cu cît puterea de scurtcircuit este mai mare sau cu cît puterea disipată de arc este mai mică. Acest lucru este normal deoarece energia care se înmagazinează în coloana de arc datorită capacității sale termice și care conduce la reaprinderea termică a arcului este determinată de diferența dintre energia electrică introdusă în arc și energia disipată de coloana arcului în mediul înconjurător.

Din caracteristicile $\bar{u}(\tau)$ rezultă de asemenea că tensiunea de aprindere a arcului este cu atît mai mică și arcul se reaprinde cu atît mai lesne cu cît parametrul b, respectiv tensiunea aplicată circuitului este mai mare. Pe de altă parte se observă că viteza inițială de variație a tensiunii de arc, ca de altfel și viteza inițială de variație a conductanței arcului, cînt independente de valoarea parametrului b.

Mai departe, se constată că în cazul reaprinderii arcului electric, efectele parametrului b

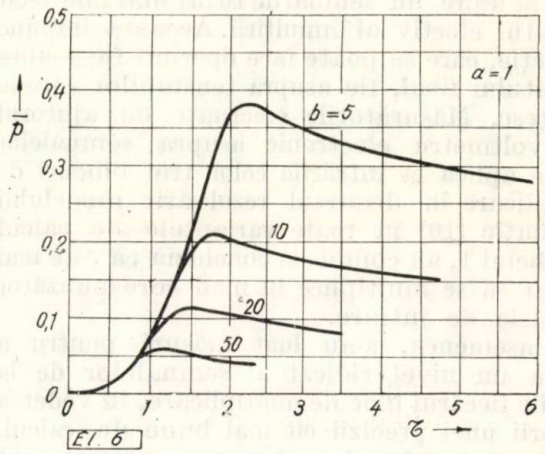


Fig. 6. Variația cu timpul a puterii dezvoltate în arc, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul reaprinderii.

asupra conductanței $\bar{G}(\tau)$ și asupra tensiunii arcului $\bar{u}(\tau)$ sînt astfel încît curentul de arc $\bar{i}(\tau)$ nu este influențat practic de valoarea lui b. Pe de altă parte, dat fiind caracterul liniar al variației curentului $\bar{i}(\tau)$, alura curbelor de variație în timp ale puterii $\bar{p}(\tau)$ dezvoltată în arc este determinată de alura curbelor $\bar{u}(\tau)$, influența parametrului b fiind de asemenea similară.

În continuare, în figura 7 sînt redate caracteristicile de variație în timp și în funcție de puterea dezvoltată în arc ale mărimii $\frac{\mathrm{d} \ln G}{\mathrm{d}\tau}$, în condițiile reaprinderii arcului electric după trecerea prin zero a curentului întrerupt. Așa cum era de așteptat, curbele $\frac{\mathrm{d} \ln G}{\mathrm{d}\tau} = f(p)$ sînt liniare. Ele pleacă toate din același punct de pe axa ordonatelor, punct determinat de valoarea constantei a care este proporțională

cu inversul constantei de timp ϑ a arcului. Se desfac apoi în evantai, pantele dreptelor fiind determinate de valorile parametrului b, iar

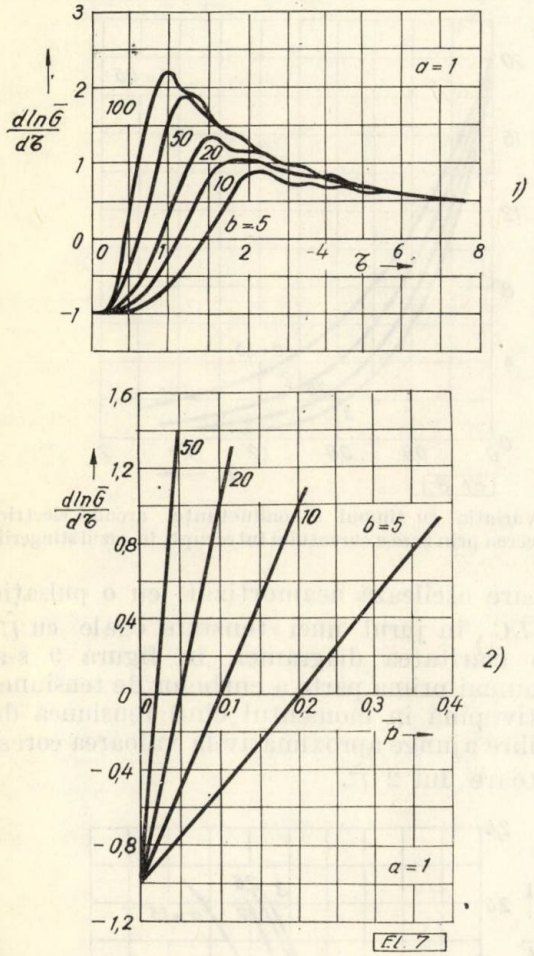


Fig. 7. Alura de variație a mărimii $\frac{d \ln \overline{G}}{d\tau}$, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul reaprinderii: 1) în funcție de timp; 2) în funcție de puterea dezvoltată în arc

intersecțiile lor cu axa absciselor sînt proporționale cu puterea P_0 disipată de arc.

Compararea înregistrărilor redate în figurile 3—5 cu înregistrările echivalente, corespunzătoare reaprinderii arcului, prezentate în figurile 4—6 din lucrarea [3] arată că rezultatele obținute prin cele două metode de modelare ale arcului electric sînt aproape identice, în cazul studierii reaprinderii arcului.

4.2. Analiza condițiilor de stingere.

a) *Datele de calcul și metoda de lucru.* Condițiile de stingere ale arcului electric au fost studiate în 16 variante, conform datelor de calcul din tabela 2. Valorile constantelor a și b s-au

Tabela 2

b	0,5				1				1,5				2			
a	1,5	2	2,5	3	2	2,5	3	4	2,5	3	4	5	3	3.5	4	5

ales astfel încît ele să satisfacă condiția $b < a$, condiție care a fost stabilită ca fiind necesară pentru obținerea stingerii arcului electric analizat [3].

Ținînd seama de alura posibilă de variație a conductanței arcului electric în cazul stingerii sale definitive s-a ales pentru coeficientul scării de amplitudine al conductanței valoarea $K_G = 0{,}5$. În ceea ce privește celelalte variabile normate ale modelului matematic (10), nici în cazul analizării condițiilor de stingere nu s-a constatat necesitatea unor transformări de scară de amplitudine.

Așa cum se va vedea în diagramele prezentate în continuare (fig. 8), variația în timp a conductanței arcului este mult mai bruscă în condițiile stingerii arcului decît în condițiile de reaprindere. Viteza mare cu care descrește conductanța corespunde unor valori foarte mari ale derivatei acesteia în funcție de timp, $\frac{d\overline{G}}{d\tau}$. Ca urmare, pentru a evita saturarea integratorului la intrarea căruia se aplică semnalul corespunzător acestei derivate, s-a căutat să se încetinească procesul pe calculator efectuîndu-se o dilatare a timpului normat din modelul matematic. În acest scop s-a utilizat o transformare de scară a timpului de forma

$$\widetilde{\tau} = \widetilde{\alpha}\, \tau \qquad (17)$$

unde:

τ = timpul normat din modelul matematic;
$\widetilde{\tau}$ = timpul calculatorului;
$\widetilde{\alpha}$ = coeficientul scării de timp.

Deoarece pentru a obține o dilatare a timpului calculatorului este necesar un coeficient al scării de timp supraunitar, s-a ales $\widetilde{\alpha} = 10$. În acest fel, rezolvarea pe calculator a sistemului de ecuații (10) a fost posibilă în toate variantele de calcul din tabelul 2.

În decursul experiențelor efectuate, analizînd alurile de variație în timp ale curentului post-arc s-a constatat că rezolvarea ecuației

$$\overline{i}\,(\tau) = \overline{G}\,(\tau)\,\overline{u}\,(\tau) \qquad (18)$$

se făcea cu erori mai mari decît rezolvarea ecuației [3]

$$\overline{i}\,(\tau) = \frac{\overline{u}\,(\tau)}{\overline{R}\,(\tau)}. \qquad (19)$$

Acest fenomen părea anormal la prima vedere. Operația de împărțire în calculatorul analogic tip MEDA 81 T se realizează prin introducerea unui bloc de multiplicare în circuitul de reacție al unui amplificator cu un factor de amplificare foarte mare. Se poate arăta că pentru realizarea operației de împărțire indicată de relația (19) este necesar să se aplice la intrările unui multi-

plicator, conectat în mod adecvat, semnalele corespunzătoare lui $\overline{R}$ (τ) și respectiv $\overline{i}$ (τ). Ori, așa cum se poate vedea în figurile 4 și 6 din [3], în cazul stingerii arcului, atît curbele $\overline{R}$ (τ) cît și curbele i (τ) pleacă din zero. Din această cauză s-au luat măsuri pentru multiplicarea adecvată a ambelor semnale $\overline{R}$ (τ) și $\overline{i}$ (τ) care se aplicau la intrările dispozitivului de înmulțire astfel încît, în decursul executării calculului, să se iasă cît mai repede din zona în care multiplicatorul lucrează cu erori mari.

În cazul de față însă, cînd curentul de arc se obține în baza relației (18), numai unul dintre cele două semnale care se aplică la intrările blocului de înmulțire și anume, semnalul corespunzător lui $\overline{u}$ (τ) variază pornind de la zero; celălalt semnal corespunzător lui $\overline{G}$ (τ) are în momentul inițial o valoare relativ mare (v. figurile 8 și 9). Mărind în limitele posibile și pe $\overline{u}$ (τ) ar fi fost normal ca operația de înmulțire a semnalelor $\overline{G}$ (τ) și $\overline{u}$ (τ) să se facă cu o precizie comparabilă celei obținute în cazul precedent. În realitate, lucrurile nu se petrec astfel deoarece din cauza vitezei foarte mari cu care descrește conductanța arcului în condițiile de stingere analizate, $\overline{G}$ (τ) ajunge la valori apropiate de zero înainte ca tensiunea de restabilire $\overline{u}$ (τ) să reușească să ajungă la valori suficient de mari pentru a compensa valorile foarte mici ale celuilalt semnal de intrare. Așa cum arată caracteristica de eroare a unui bloc de multiplicare, ridicată în laborator, este suficient ca numai unul dintre factorii produsului, respectiv unul dintre semnalele de la intrarea multiplicatorului să aibă valori mici, pentru ca rezultatul să fie afectat de erori mai mari de 5 %.

Pentru a mări precizia de rezolvare a ecuației (18) în cazul studierii condițiilor de stingere ale arcului electric, a fost necesar să se înlocuiască blocul de multiplicare corespunzător cu un servomultiplicator. Utilizarea acestuia în condiții corecte de lucru a fost posibilă datorită începerii procesului pe calculator, obținută prin transformarea de scară de timp menționată mai înainte. Dat fiind faptul că servomultiplicatorul utilizat, de tip SENAS 2/10 are posibilitatea să efectueze simultan mai multe înmulțiri, el a fost utilizat pentru a realiza toate produsele care apar în modelul matematic (10).

b) Rezultatele obținute în cazul stingerii arcului.

Dintre soluțiile obținute pe calculator în variantele din tabelul 2 s-au ales pentru a fi prezentate în această lucrare soluțiile corespunzătoare variantelor $b = 0{,}5$ și $a = 1{,}5 - 3$, ca și în [3].

Figurile 8 — 11 redau înregistrările obținute pentru $\overline{G}$ (τ), $\overline{u}$ (τ), $\overline{i}$ (τ) și $\overline{p}$ (τ) în condițiile unei întreruperi reușite a circuitului. Se poate vedea cum imediat după trecerea prin zero a curentului întrerupt, conductanța arcului scade brusc de la valoarea inițială relativ mare pe care o avea, tinzînd către zero. În acest timp tensiunea de restabilire care apare la bornele întreruptorului crește mult, ajungînd la o valoare maximă aproximativ egală cu $2\,\hat{U}$

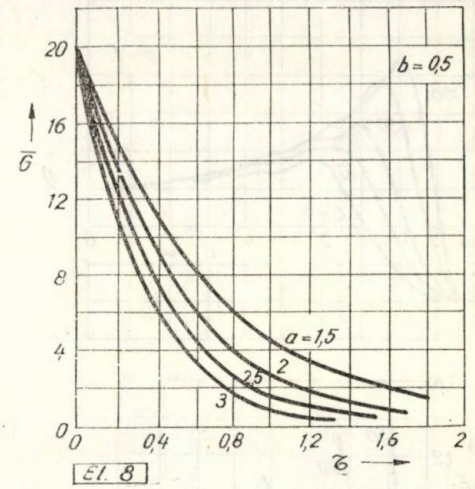


Fig. 8. Variația cu timpul a conductanței arcului electric, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul stingerii.

după care oscilează neamortizat, cu o pulsație $\omega_0 = \sqrt{LC}$, în jurul unei tensiuni egale cu $\hat{U}$. Pentru claritatea diagramei, în figura 9 s-a redat numai prima parte a curbelor de tensiune, respectiv pînă în momentul cînd tensiunea de restabilire ajunge aproximativ la valoarea corespunzătoare lui $2\,\hat{U}$.

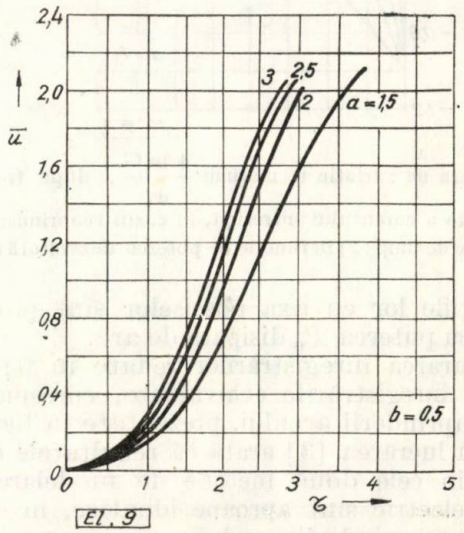


Fig. 9. Variația în timp a tensiunii de arc, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul stingerii.

Alura de variație în timp a curenților post-arc de valoare mică din figura 10 confirmă de asemenea faptul că are loc o stingere definitivă a arcului electric de întrerupere. Un mod întrucîtva asemănător de variație îl au și caracteristicile corespunzătoare puterii dezvoltate în arc, prezentate în figura 11. Astfel, după atingerea unui maxim, atît curentul post-arc cît și puterea arcului scad la zero.

Cu privire la influența parametrului a asupra caracteristicilor prezentate se remarcă în primul rînd că viteza inițială de variație atît a conductanței arcului cît și a tensiunii de restabilire

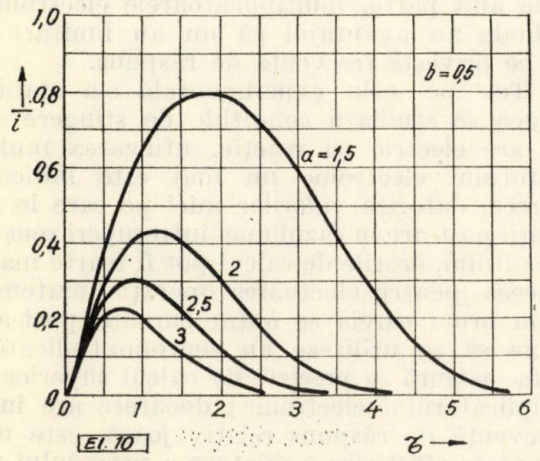


Fig. 10. Variația cu timpul a curentului de arc, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul stingerii.

variază direct proporțional cu a, în timp ce viteza inițială de variație a curentului post-arc, ca și a puterii arcului, rămîn constante.

Din analiza curbelor din figura 8 se vede că conductanța scade la zero cu atît mai repede cu cît constanta a este mai mare. Arcul electric se va stinge deci cu atît mai ușor cu cît frecvența proprie de oscilație a tensiunii de restabilire, determinată de elementele L și C ale circuitului este mai mică. Acest lucru este normal, deoarece

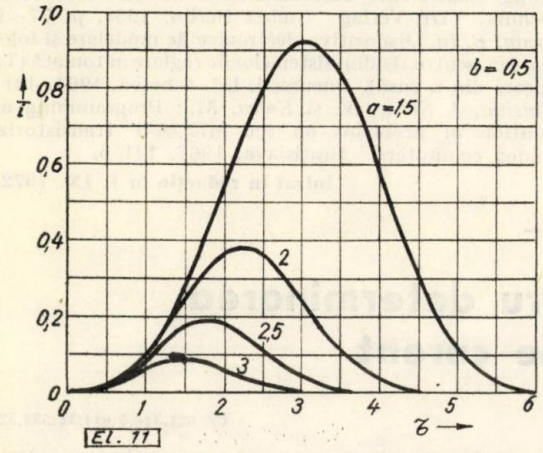


Fig. 11. Variația în timp a puterii dezvoltate în arc, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul stingerii.

așa cum rezultă și din caracteristicile prezentate în figura 9, cu cît a este mai mare și deci cu cît frecvența tensiunii de restabilire este mai mică, cu atît tensiunea de restabilire ajunge mai repede la valoarea sa maximă.

În ceea ce privește curbele prezentate în figurile 10 și 11 se vede că valorile maxime atinse de curenții post-arc, ca și valorile maxime ale puterii dezvoltate în arc scad pe măsură ce parametrul a crește, deci pe măsură ce se mărește durata de creștere a tensiunii tranzitorii de restabilire care este proporțională cu $\sqrt{LC}$.

În fine, pentru a putea face o comparație cu diagramele din figura 7, în figura 12 se prezintă caracteristicile de variație în timp și în funcție de puterea arcului ale mărimii $\frac{d \ln \bar{G}}{d\tau}$, obținute în condițiile stingerii definitive a arcului.

Dacă se compară înregistrările redate în figurile 8 — 10 cu înregistrările echivalente, din cazul stingerii, prezentate în figurile 4 — 6 din lucrarea [3], se vede de exemplu că se obțin caracteristici aproape identice pentru tensiunile de restabilire $\bar{u}(\tau)$. În ceea ce privește caracteristicile curentului post-arc se constată că față de alurile corecte ale curentului $\bar{i}(\tau)$ obținute în cazul utilizării unui servomultiplicator, alurile curentului $\bar{i}(\tau)$ obținute cu ajutorul unui multiplicator electronic sînt afectate de erori

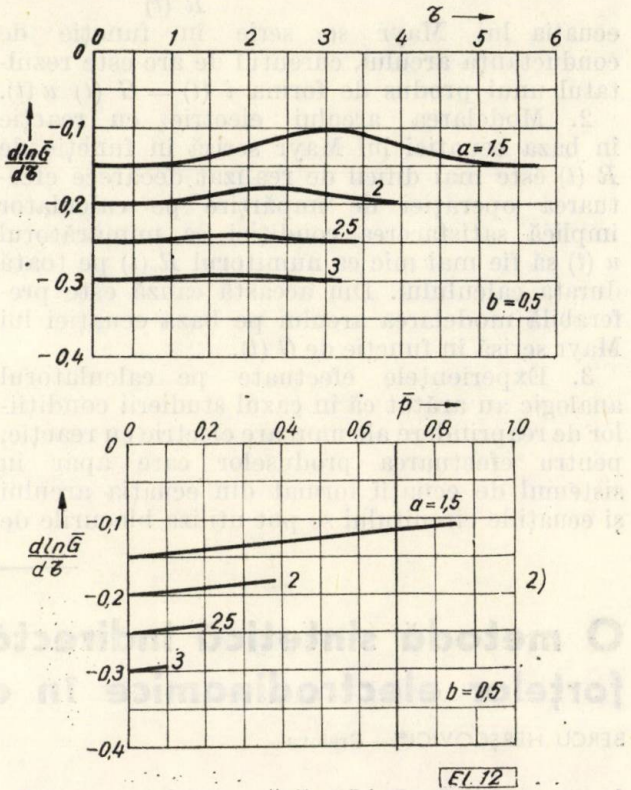


Fig. 12. Alura de variație a mărimii $\frac{d \ln \bar{G}}{d\tau}$, după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul stingerii:
1) în funcție de timp; 2) în funcție de puterea dezvoltată în arc.

datorate însuși principiului de realizare constructivă a acestuia. În timpul variației unuia dintre semnalele de intrare, schema conectează sau deconectează diodele convertizorului funcțional; punctul de funcționare parcurge zonele neliniare ale caracteristicilor tensiune-curent proprii diodelor, ceea ce conduce la schimbările

de pantă din figura 6 [3], necaracteristice fenomenului studiat.

Din cele de mai sus rezultă că în cazul studierii fenomenului de stingere a unui arc electric de întrerupere nu este indicat să se utilizeze un multiplicator electronic pentru efectuarea operației matematice (de împărțire sau de înmulțire) în urma căreia se obține curentul post-arc deoarece, dat fiind valorile mici ale acestuia, erorile de calcul pot ajunge să fie mai mari de 5 %.

5. Concluzii

1. Pentru analiza stingerii și reaprinderii unui arc electric cu reacție se poate utiliza un calculator analogic. Modelarea arcului electric de întrerupere se face, în general, pe baza ecuației diferențiale neliniare a lui Mayr. În cazul în care ecuația lui Mayr se exprimă în funcție de rezistența intervalului disruptiv, curentul de arc se obține în urma unei operații de împărțire de forma $i\,(t) = \frac{u\,(t)}{R\,(t)}$. Dacă însă ecuația lui Mayr se scrie în funcție de conductanța arcului, curentul de arc este rezultatul unui produs de forma $i\,(t) = G\,(t)\,u\,(t)$.

2. Modelarea arcului electric cu reacție în baza ecuației lui Mayr scrisă în funcție de $R\,(t)$ este mai dificil de realizat deoarece efectuarea operației de împărțire pe calculator implică satisfacerea condiției ca numărătorul $u\,(t)$ să fie mai mic ca numitorul $R\,(t)$ pe toată durata calculului. Din această cauză este preferabilă modelarea arcului pe baza ecuației lui Mayr scrisă în funcție de $G\,(t)$.

3. Experiențele efectuate pe calculatorul analogic au arătat că în cazul studierii condițiilor de reaprindere ale unui arc electric cu reacție, pentru efectuarea produselor care apar în sistemul de ecuații format din ecuația arcului și ecuațiile circuitului se pot utiliza blocurile de multiplicare ale calculatorului. Dacă se iau măsuri pentru a se mări în mod adecvat semnalele care se aplică la intrările lor, ele pot asigura o precizie de calcul mai bună de 5 %. Pe de altă parte, multiplicatoarele electronice cu diode au avantajul că nu au limitări în ceea ce privește frecvența de răspuns.

4. Tot pe cale experimentală s-a stabilit că dacă se studiază condițiile de stingere ale unui arc electric cu reacție, utilizarea multiplicatorului electronic nu mai este indicată deoarece, datorită valorilor mici pe care le au curenții post-arc în cazul unei întreruperi reușite a circuitului, erorile de calcul pot fi foarte mari. De aceea, pentru efectuarea operației matematice în urma căreia se obțin curenții post-arc trebuie să se utilizeze un servomultiplicator. Acesta asigură o precizie de calcul superioară multiplicatorului electronic; deoarece are însă o frecvență de răspuns relativ joasă, este necesar să se efectueze o dilatare a procesului pe calculator.

Bibliografie

[1] *Sasu, M.* Modele matematice ale arcului electric de întrerupere. În: Progresele științei, **8**, nr. 6, 1972, p. 275—285.

[2] *Mayr, O.* Beiträge zur Theorie des statischen und des dynamischen Lichtbogens. În: Archiv für Elecktrotechnik, **37**, nr. 12, 1943, p. 588—608.

[3] *Sasu, M.* Stabilirea condițiilor de stingere și de reaprindere ale unui arc electronic, cu a'utorul calculatorului analogic. În: Electrotehnica, **20**, nr. 11, nov 1972, p. 400—409.

[4] *Mayr, O.* Aufgaben und Lösungen aus der Theorie der Gasentladungen von allem des Lichtbogens. In: Anwendlung elektrischer Rechenanlagen in der Starkstromtechnik, VDE-Verlag GmbH Berlin, 1958, p. 77—90.

[5] *Kogan, B. Ia.* Dispozitive electronice de modelare și folosirea lor pentru studiul sistemelor de reglare automată (Traducere din l. rusă). București, Ed. tehnică, 1964, 431 p.

[6] *Valenta, I. Škvor, V.* și *Kotva, M.*: Programming and solution of problems on the MEDA-T transistorized analog computers. Bratislava, 1967, 141 p.

Intrat în redacție la 1. IX. 1972

O metodă sintetică indirectă pentru determinarea forțelor electrodinamice în căile de curent

BERCU HERȘCOVICI* — Craiova

CZ 621.316.5.014.32:539.32

1. Generalități. Justificarea metodei

Calculul exact al distribuției electrodinamice în căile de curent ale aparatelor de comutație de înaltă tensiune implică dificultăți importante și este legat de numeroase erori generate de premisele simplificatoare considerate [1], [2].

În plus, pentru determinarea directă a repartiției (distribuției) forței pe calea de curent, trebuie numeroase încercări cu curenți mari de scurtcircuit, ceea ce este practic imposibil de realizat.

De aceea în această lucrare se propune o metodă sintetică, bazată parțial pe măsurători directe și parțial pe calcule, pentru determinarea repartiției forțelor electrodinamice pe căile de curent ale aparatelor de comutație de înaltă tensiune. La elaborarea acestei metode s-au folosit rezultatele unor lucrări anterioare concepute pentru studiul repartiției forțelor în bobinajele transformatoarelor de putere [3],

* Ing. *B. Herșcovici* este conferențiar la Facultatea de Electrotehnică a Universității din Craiova.

[4]. Aplicînd metoda elaborată la un separator de 10 kV, 630 A [5], se face de asemenea analiza critică a ei, arătîndu-i limitele.

2. Descrierea metodei

Pentru a determina repartiţia forţelor electrodinamice de-a lungul unui circuit parcurs de un curent electric, sub influenţa altor circuite învecinate parcurse de curenţi electrici, se măsoară cu o bobină sondă repartiţia inducţiei magnetice în apropierea circuitului de referinţă, provocată de acţiunea cumulată a curenţilor din circuitele învecinate.

În timpul acestor măsurători, circuitul de referinţă nu este parcurs de curent electric. Determinarea inducţiei se face cu o bobină-sondă cu rol de traductor, tensiunea la bornele acesteia fiind măsurată cu voltmetrul electronic.

Metoda descrisă dă rezultate mai exacte la aparatele de comutaţie decît la transformatoare [3], [4], prin aceea că în timpul determinării cîmpului magnetic cu bobinele-sondă, circuitul de referinţă nu este parcurs de curent electric, în timp ce la transformatoarele de putere întregul bobinaj este parcurs de curentul electric.

Bobinele-sondă (fig. 1) s-au realizat cu dimensiuni mici şi compacte, dar cu număr mare de spire şi cuprinzînd o suprafaţă de linii de cîmp

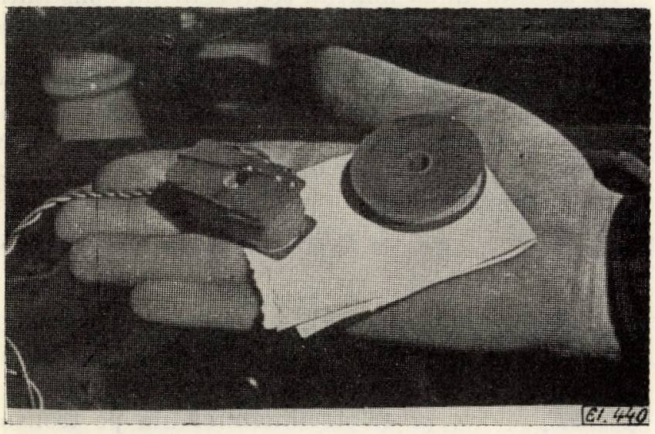


Fig. 1. Bobine-sondă cu secţiune dreptunghiulară şi rotundă

magnetic suficient de mare, astfel ca tensiunea obţinută să poată fi citită la voltmetrul electronic utilizat.

S-au realizat două tipuri de bobină-sondă, una avînd secţiunea rotundă, iar alta avînd secţiunea dreptunghiulară. Folosind conductor de Cu E Φ 0,16 mm izolat cu email, cele două bobine s-au realizat astfel încît determinările făcute cu ele să se compenseze reciproc, aşa cum rezultă din figura 2.

Ambele bobine sondă din figura 1 s-au realizat cu cîte 2000 spire, suprafaţa de linii de cîmp magnetic cuprinsă de spire fiind aceiaşi la ambele bobine. În schimb distribuţia spirelor este diferită la cele două bobine, cum se vede în figurile 1 şi 2: în bobina rotundă spirele s-au distribuit în principal pe rază şi mai puţin pe înălţime (bobina obţinîndu-se plată

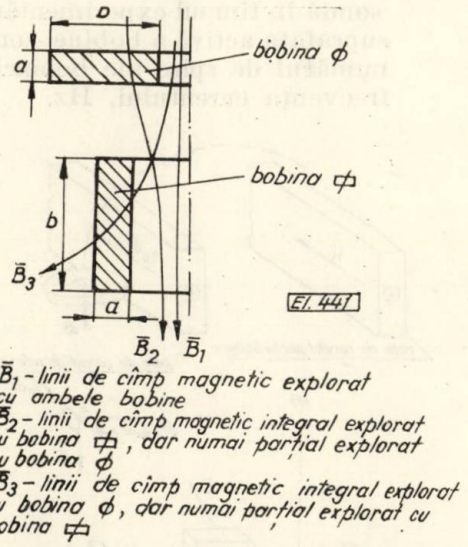


Fig. 2. Schiţă pentru indicarea compensării reciproce a citirilor bobinelor-sondă plate şi înalte

şi îngustă), în timp ce în bobina dreptunghiulară spirele s-au distribuit în principal pe înălţime şi mai puţin pe lăţime (bobina obţinîndu-se groasă). S-a urmărit astfel ca erorile obţinute cu aceste două tipuri de bobine să se compenseze reciproc la explorarea cîmpului magnetic, cum se vede şi în figura 2.

De aceea s-a procedat la explorarea succesivă a aceluiaşi cîmp magnetic cu ambele tipuri de bobine-sondă, făcîndu-se apoi media aritmetică.

Bobina dreptunghiulară s-a realizat cu o latură a secţiunii dreptunghiulare mult mai mică decît cealaltă, deoarece aceasta permite explorarea cîmpului magnetic într-un domeniu mai apropiat de calea de curent luată ca referinţă. Pentru a înlătura erorile sistematice la determinarea cîmpului magnetic datorate explorării unor domenii prea depărtate de circuitul de referinţă, s-au realizat cu fiecare din cele două tipuri de bobine şi pentru fiecare punct de reper de pe calea de curent, cîte două determinări, una la partea superioară a ei şi cealaltă la partea inferioară a ei, făcîndu-se apoi iarăşi o medie aritmetică.

În figura 3 se prezintă schematic două cazuri importante care apar la determinarea cîmpului magnetic cu bobinele-sondă pentru obţinerea repartiţiei forţelor electrodinamice în căile de curent ale unui separator de medie tensiune. Etalonarea bobinelor-sondă s-a făcut atît prin calcule, cît şi experimental. Astfel, la etalonarea prin calcul se scrie [6], [7]:

$$B = K \cdot U, \quad \mathrm{T} \tag{1}$$

cu $$K = \frac{B}{U} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi NSf} = \text{const}, \quad T \cdot V^{-1} \qquad (2)$$

unde :

U este tensiunea obţinută de la bobina-sondă în timpul experimentărilor, V ;
S suprafaţa activă a bobinei-sondă, m^2 ;
N numărul de spire ale bobinei-sondă ;
f frecvenţa curentului, Hz.

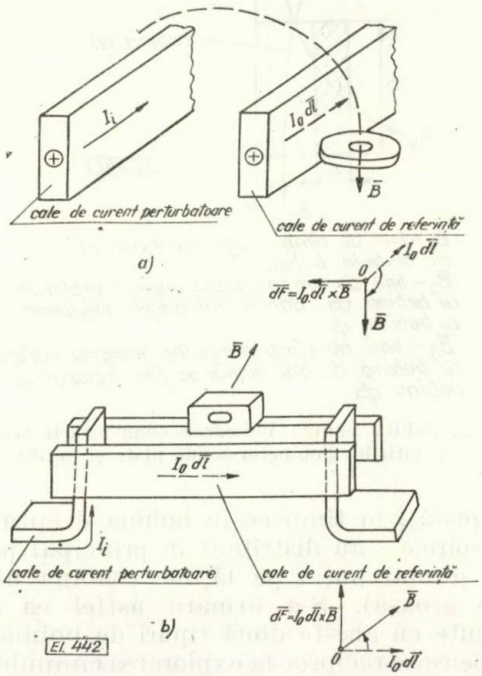


Fig. 3. Scheme pentru determinarea experimentală a cîmpului magnetic cu bobinele-sondă.

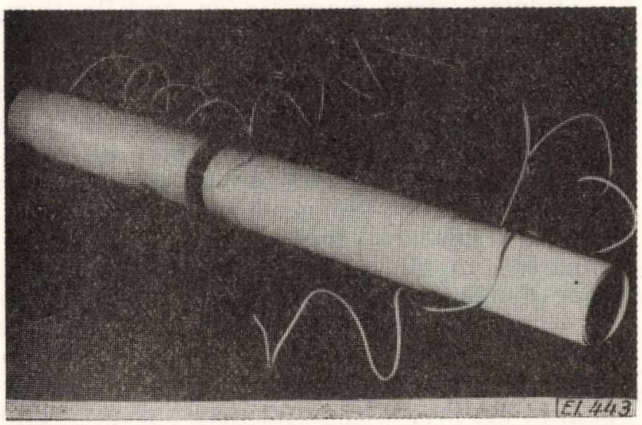


Fig. 4. Bobina solenoid-etalon.

La etalonarea experimentală s-a utilizat o bobină solenoid — etalon ca în figura 4, scriindu-se :

$$B_1 = K_1 \cdot I_1, \qquad T \qquad (3)$$

$$\text{cu [6]} : K_1 = \frac{\mu_0 \cdot N_1}{2} (\cos\alpha + \cos\alpha) = \frac{\mu_0 \cdot N_1}{\sqrt{L^2 + Ø^2}} = \text{const}, \quad TA^{-1} \qquad (4)$$

unde α, N_1, L şi Ø rezultă din figura 5.

Bobina solenoid-etalon s-a realizat cu lungimea L, mare, fiind bobinată cu un singur strat de spire aşezate alăturat, pentru a se realiza practic o pînză de curent. Etalonarea s-a făcut după centrarea bobinelor-sondă (punctul M din fig. 5).

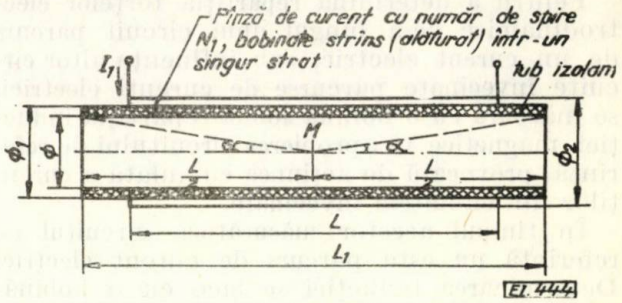


Fig. 5. Etalonarea experimentală a bobinelor — sondă cu ajutorul solenoidului — etalon din figura 4.

După centrare, se alimentează bobinajul solenoidului-etalon cu o tensiune alternativă variată în trepte, măsurînd curenţii I_1 care circulă în aceste condiţii prin spirele N_1 ale pînzei de curent (fig. 5), precum şi tensiunile U_1 induse în bobina-sondă din centrul solenoidului-etalon. Întrucît valoarea constantei K_1 din expresia (4) se cunoaşte din dimensiunile geometrice ştiute ale solenoidului-etalon, se pot astfel obţine direct relaţii între B_1 şi U_1, raportul acestor două mărimi reprezentînd constanta K de etalonare a bobinei-sondă conform expresiei (2).

Se împarte apoi calea de curent în tronsoane, calculînd pentru fiecare din ele (luat ca referinţă) valoarea $\overline{\Delta F_i}$ a forţei electrodinamice, folosind expresia în diferenţe finite ale forţei lui Laplace [7] :

$$\overline{\Delta F_i} = I_0 \cdot \Delta\bar{l}_i \times \bar{B}_i, \quad N \qquad (5)$$
$$i = 1, 2 \ldots n$$

unde :

I_0 este curentul în circuitul de referinţă, A ;
$\overline{\Delta F_i}$ — forţa electrodinamică de pe tronsonul $\Delta\bar{l}_i$, N ;
$\Delta\bar{l}_i = \text{const} = \Delta l = \frac{l}{n}$, m.

Deoarece în orice tronson $\Delta\bar{l} \perp \bar{B}_i$ cum se vede în figura 3 şi ţinînd seama de (1) rezultă că (5) devine :

$$\frac{\Delta F_i}{I_0} = \frac{l}{n} \cdot k \cdot U_i, \quad NA^{-1} \qquad (6)$$

unde $\frac{\Delta F_i}{I_0}$ este forţa electrodinamică pentru 1A în calea de curent de referinţă, NA^{-1}.
Aici U_1 sînt valorile citite pe milivoltmetrul electronic la explorarea cu bobinele-sondă a

cîmpului magnetic din vecinătatea imediată a circuitului de referință (fig. 3), în dreptul reperelor echidistante între ele cu $\Delta l = \frac{l}{n}$ și care definesc cele n tronsoane reperate.

3. Rezultate experimentale

Metoda s-a aplicat la un separator de 10 kV cu 630 A [5]; în figura 6 se prezintă schema experimentală și curenții paraziți din calea

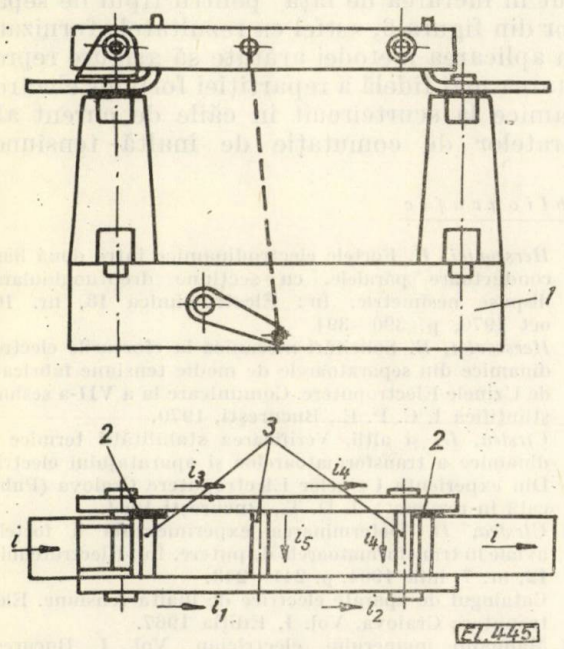


Fig. 6. Schema experimentală a căii de curent :
1 – separator; *2* – piese izolante distanțatoare pentru experimentare; *3* – punțile conductoare pentru curenții paraziți.

$i \neq i_1 \neq i_2$ $\quad i > i_2 > i_1$
$i_3 \approx (0{,}05 \div 0{,}1)\ i$
pentru $i = 300 \div 630$ A
$i_4 \approx (0{,}01 \div 0{,}05)\ i$

de referință; acești curenți generează erori la măsurarea inducției magnetice. Experimentările s-au făcut cu curenți în jurul valorii de 630 A, pentru a nu produce încălziri excesive ale căii de curent a separatorului; apoi prin calcule cu coeficienți de corecție, s-au recalculat forțele pentru curenții de scurtcircuit.

Experimentările s-au făcut pentru regimul scurtcircuitului monofazat, bifazat și trifazat, rezultatele distribuției forțelor electrodinamice pe toate cuțitele separatorului din figura 6 fiind prezentate în figurile 7, 8 și 9. Aparatura, conexiunile și schema de montaj cu care s-a realizat experimentarea se prezintă în figura 10. La montajul pentru experimentare s-au respectat condițiile impuse de normele pentru separatoare [9], [10], ca și normativele de exploatare [11], [12], [13]. În figura 7, 8 și 9 s-au hașurat domeniile de la extremitățile cuțitelor de separator, deoarece în aceste zone apar erori mari datorită prezenței armăturilor și pieselor feromagnetice ale izolatoarelor suport.

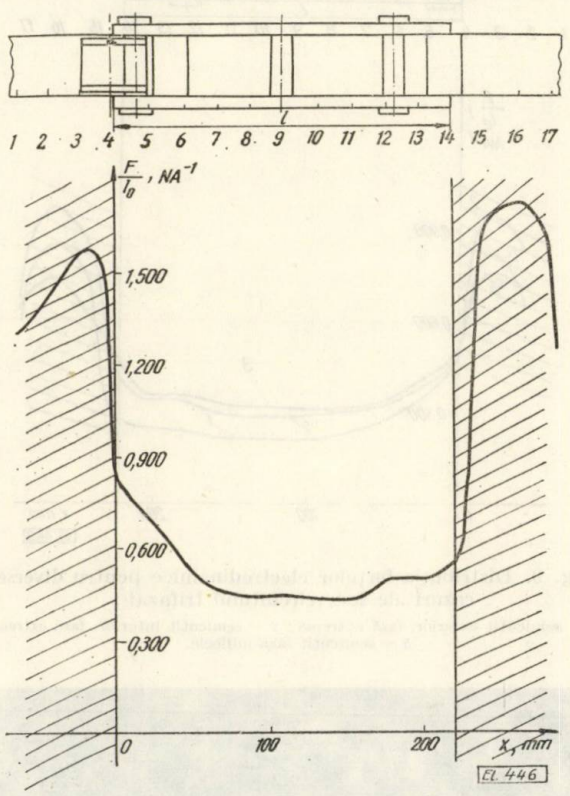


Fig. 7. Regimul monofazat. Distribuția forțelor electrodinamice într-un cuțit de separator, figura 6, sub influența cuțitului vecin.

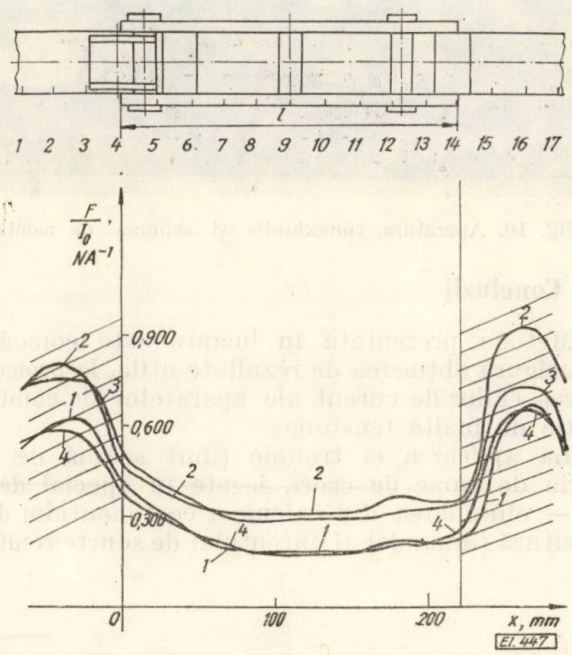


Fig. 8. Distribuția forțelor electrodinamice pentru diverse cazuri ale scurtcircuitului bifazat :
1 – semicuțit exterior, influența fazei vecine; *2* – semicuțit interior, influența fazei vecine; *3* – semicuțit exterior, influența fazei depărtate; *4* – semicuțit interior, influența fazei depărtate.

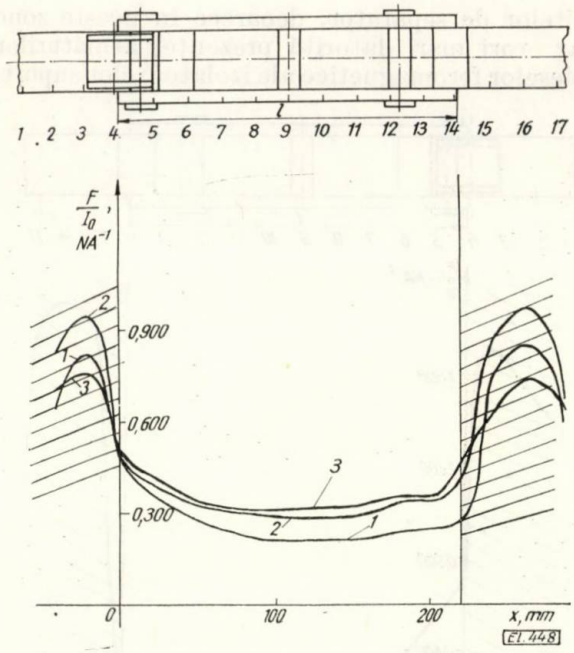


Fig. 9. Distribuţia forţelor electrodinamice pentru diverse cazuri ale scurtcircuitului trifazat;
1 — semicuţit exterior, fază extremă; *2* — semicuţit interior, fază extremă *3* — semicuţit fază mijlocie.

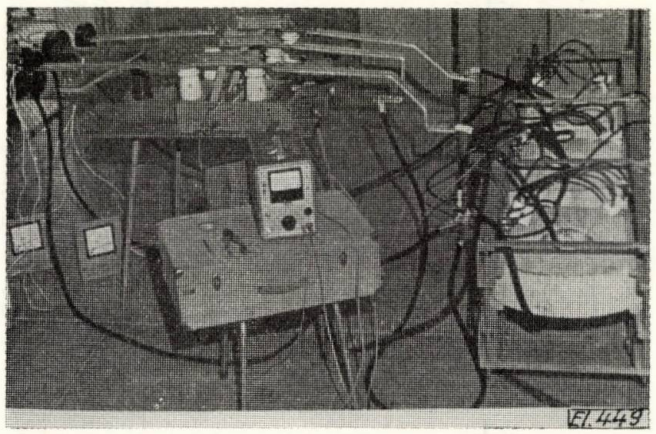


Fig. 10. Aparatura, conexiunile şi schema de montaj.

4. Concluzii

Metoda prezentată în lucrare este comodă şi asigură obţinerea de rezultate utile, la proiectarea căilor de curent ale aparatelor de comutaţie de înaltă tensiune.

La aplicarea ei trebuie ţinut seamă de o serie de surse de erori, legate în special de:

— eliminarea din calcule a coeficientului de lovitură (dinamic) al curentului de scurtcircuit;

— neevidenţierea distribuţiei neuniforme a curenţilor pe căile paralele; mai ales în cazul aparatelor de comutaţie pentru curenţi nominali şi de scurtcircuit mari, se întîlnesc adesea mai multe căi de curent paralele, ceea ce sporeşte neuniformitatea distribuţiei;

— prezenţa pieselor feromagnetice în vecinătatea căii de curent, ceea ce duce la distribuţii dependente de nivelul de saturaţie magnetică al acestor piese.

Pentru toate aceste surse de erori şi corelat cu tipul căii de curent explorate, se pot elabora artificii experimentale de corecţie, aşa cum s-a făcut în lucrarea de faţă pentru tipul de separator din figura 6, astfel ca rezultatele furnizate prin aplicarea metodei arătate să asigure reprezentarea mai fidelă a repartiţiei forţelor electrodinamice la scurtcircuit în căile de curent ale aparatelor de comutaţie de înaltă tensiune.

Bibliografie

[1] *Herşcovici, B.* Forţele electrodinamice între două bare conductoare paralele, cu secţiune dreptunghiulară, dispuse nesimetric. În: Electrotehnica **18**, nr. 10, oct 1970, p. 390—394

[2] *Herşcovici, B.* Solicitări mecanice la eforturile electrodinamice din separatoarele de medie tensiune fabricate de Uzinele Electroputere. Comunicare la a VII-a sesiune ştiinţifică I. C. P. E., Bucureşti, 1970.

[3] *Cîrstea, D.* şi alţii. Verificarea stabilităţii termice şi dinamice a transformatoarelor şi aparatajului electric. Din experienţa Uzinelor Electroputere Craiova (Publicată în rezumat). I. D. T., Bucureşti 1964.

[4] *Cîrstea, D.* Determinarea experimentală a forţelor axiale în transformatoarele de putere. În: Electrotehnica **12**, nr. 7, iulie 1964, p. 241—243.

[5] Catalogul de aparate electrice de înaltă tensiune. Electroputere Craiova, Vol. **I**, Ediţia 1967.

[6] Manualul inginerului electrician. Vol. **I**. Bucureşti Ed. Tehnică, 1953, p. 249.

[7] *Timotin, A.* şi alţii. Lecţii de Bazele Electrotehnicii. Bucureşti, Ed. Didactică şi Pedagogică, 1970.

[8] *Hortopan, G.* Aparate Electrice. Bucureşti, Ed. Didactică şi Pedagogică, 1967.

[9] STAS 1564—70. Separatoare de curent alternativ de 1 kV şi peste 1 kV. Condiţii generale.

[10] C. E. I. — Publicaţia 129. Ediţia I, 1961. Sectionneurs a courant alternatif et sectionneurs de terre.

[11] Ministerul Energiei Electrice. Regulamentul de exploatare tehnică a centralelor şi reţelelor electrice. ISPH — 1966, ediţia a treia; aprobat cu ordinul M. E. E. nr. 233 din 2 dec. 1965, I.S.P.H. —1966.

[12] Ministerul Minelor şi Energiei Electrice, Departamentul energiei electrice. Prescripţii pentru proiectarea şi construirea instalaţiilor de distribuţie cu tensiuni mai mari decît 1000V. Prescripţia nr. 13—61, ICSE—1962; aprobat cu ord. M. M. E. E. nr. 10273 din 11 noiembrie 1961.

[13] Handbuch Schaltanlagen, Band II. Berlin, VEB-Verlag Technik, 1961

Intrat în redacţie la 10.VII.1972

Asupra relației de calcul al cuplului activ al contoarelor monofazate de inducție

CARMEN GOLOVANOV*— București

CZ 621.317.8.016.1

1. Introducere

Utilizarea largă a contoarelor de inducție în circuite alimentate în curent alternativ, pentru măsurarea energiei electrice consumate de receptorii casnici și industriali, impune realizarea unei dimensionări optime a sistemelor active, asigurarea funcționării în limitele clasei de precizie prestabilite, într-un domeniu cît mai extins de variație a curentului de sarcină.

În literatura de specialitate există ample referiri privitor la proiectarea contorului monofazat de inducție, precum și numeroase expresii analitice pentru calculul cuplului activ, parametru funcțional deosebit de important. Astfel, pe baza metodei imaginilor magnetice și făcînd ipoteza existenței unor curenți turbionari induși în disc avînd traiectorii circulare (cercurile lui Apollonius), Rogowski și Steinhaus [14] au efectuat calculul cuplului activ admițînd o formă circulară a secțiunii polilor. Modelul admis este însă mult idealizat, în realitate secțiunea polilor fiind dreptunghiulară.

Autori ca Bull [1], Goriunov [4] introduc coeficienți de corecție în formula de calcul al cuplului, dedusă de Rogowski, în scopul de a se lua în considerație forma reală a polilor.

În [19] se prezintă deducerea relației de calcul a cuplului activ pe baza aplicării metodei conductanței mutuale electrice.

Considerînd o repartiție dreptunghiulară a inducțiilor magnetice în întrefierul electromagneților de tensiune și curent, integrînd relațiile lui Maxwell, în [2] se prezintă o metodă de calcul al cuplului activ al mecanismelor de inducție.

În lucrările menționate, premizele de calcul adoptate diferă, ca de altfel și configurația geometrică admisă pentru sistemul activ; formulele pentru determinarea cuplului de rotație pot fi însă aduse la aceeași formă, și anume:

$$M_P = K_P \hat{\Phi}_U \hat{\Phi}_I \sin \psi. \qquad (1)$$

Sistematizat, în tabela 1, se prezintă configurația geometrică adoptată, ipotezele preliminare și relația de calcul a constantei K_P.

Lucrarea își propune prezentarea unei relații analitice exacte de calcul a cuplului activ, integrînd ecuațiile lui Maxwell în coordonate polare r, φ, aproximînd forma polilor electromagneților de tensiune și de curent cu patrulatere curbilinii, pe baza unor determinări experimentale a distribuției spațiale a inducțiilor magnetice în întrefierul electromagneților de tensiune și de curent ai unui contor monofazat de inducție, de fabricație Electromagnetica, tip CAM6.

* Ing. *Carmen Golovanov* este șef de lucrări la Catedra de măsuri și aparate electrice din I. P. B.

2. Stabilirea relației de calcul al cuplului activ al contorului monofazat de inducție

2.1. Ipoteze și premize de calcul

2.1.1. Se consideră funcționarea contorului în regim sinusoidal. Varietatea configurației geometrice a sistemelor active, diversitatea parametrilor funcționali și a materialelor magnetice utilizate pentru construcțiile existente de contoare impun distingerea a două cazuri.

a) Prezența fierului în circuitele magnetice ale contorului și funcționarea pe porțiunile curbei de magnetizare corespunzătoare cotului sau saturației determină un răspuns neliniar la solenațiile magnetizante.

În consecință, dacă înfășurarea de excitație a electromagnetului este parcursă de un curent sinusoidal, curba de variație temporală a inducției magnetice va fi distorsionată (pe lîngă fundamentala b_1 există și componente armonice de ordin ν, b_ν).

Într-adevăr curba de magnetizare $b = f(\theta)$ poate fi reprezentată ca seria:

$$b = c_1 \theta + c_3 \theta^3 + c_5 \theta^5, \qquad (2)$$

unde,

c_1, c_3, c_5 sînt coeficienți de proporționalitate.

În domeniul care interesează (în general între 0 și 0,2 T) se poate scrie cu suficientă precizie:

$$b = c_1 \theta + c_3 \theta^3. \qquad (3)$$

Dacă solenația are o variație sinusoidală în timp:

$$\theta = \hat{\Theta} \sin \omega t \qquad (4)$$

și se introduce relația (4) în expresia (3) se obține:

$$b = c_1 \hat{\Theta} \sin \omega t + c_3 \hat{\Theta}^3 \sin^3 \omega t, \qquad (5)$$

dar,

$$\sin^3 \omega t = \frac{3}{4} \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin (3 \omega t). \qquad (6)$$

Deci:

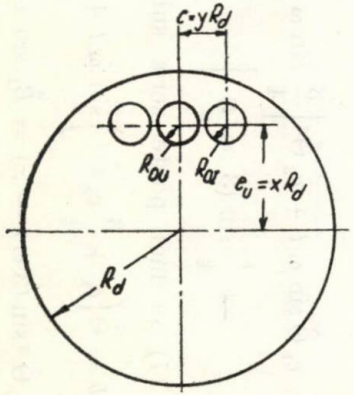
$$b = c_1 \hat{\Theta} \sin \omega t + c_3 \hat{\Theta}^3 \left[\frac{3}{4} \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin (3 \omega t) \right]. \qquad (7)$$

Relația (7) se mai poate scrie sub forma:

$$b = \hat{\Theta} \left(c_1 + \frac{3}{4} c_3 \hat{\Theta}^2 \right) \sin \omega t + \frac{1}{4} c_3 \hat{\Theta}^3 \sin (3 \omega t - \pi) = \hat{B}_1 \sin \omega t + \hat{B}_3 \sin (3 \omega t - \pi) = b_1 + b_3. \qquad (8)$$

Tabela 1

Configurația geometrică	Formula de calcul a constantei K_P	Premizele de calcul ale cuplului activ



Configurația geometrică admisă de Rogowski [13]

$$K_p = 2\sigma\ \delta\ fK$$

a) Cazul în care contururile echivalente ale polilor nu se intersectează

$$K = \frac{x}{y}\left[1 - \frac{y^2}{(1-x^2)^2 + x^2 y^2}\right]$$

$$x = \frac{e_u}{R_d}$$

$$y = \frac{c}{R_d}$$

b) Cazul în care contururile echivalente ale polilor se intersectează

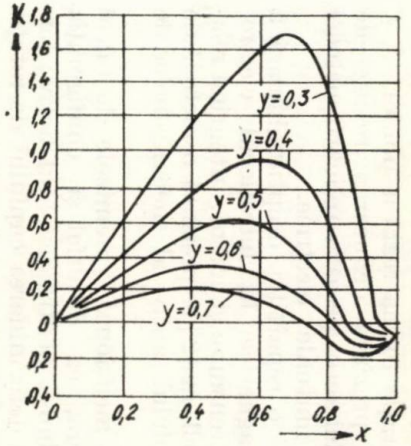
$$K' = K - K_x$$

$$K_x = \frac{1}{\pi}\left[\sin 2\ \nu_c \left(1 + \frac{y^2}{2r_0^2}\right) - 2\nu_c\left(\frac{y^2}{r_0^2} - 1\right)\right]$$

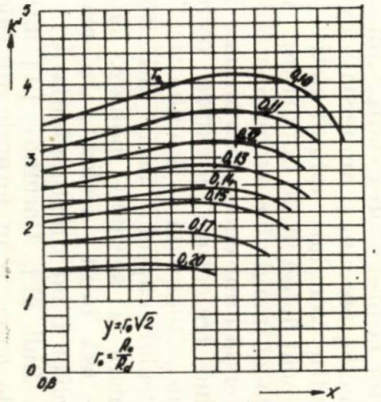
$$\nu_c = \arccos \frac{y}{2r_0}$$

$$r_0 = \frac{R_0}{R_d}$$

Observația : Constanta K, respectiv K' se pot determina grafic din familiile de curbe din figurile următoare



Constanta K pentru cazul în care contururile echivalente ale polilor nu se intersectează. [4]

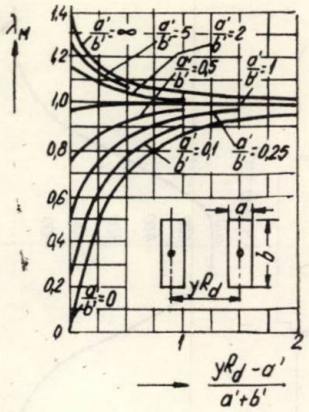


Constanta k' pentru cazul în care contururile echivalente ale polilor se intersectează. [4]

1. Se admite secțiunea polilor circulară

2. Curenții turbionari au traiectorii circulare

3. Calculul se efectuează utilizînd metoda imaginilor magnetice



Configuraţia geometrică admiţînd forma polilor dreptunghiulară [4]

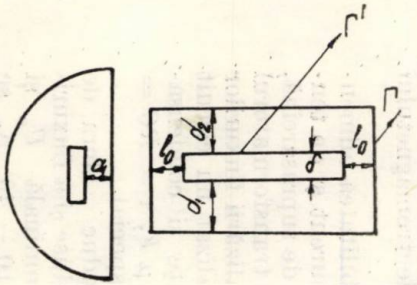
$$K = \frac{x}{|y|}\left[\lambda_m - \frac{y^2}{(1-x^2)^2 + x^2 y^2}\right]$$

$$\lambda_m = f\left(\frac{yR_d}{a'+b'} - \frac{a'}{a'+b'}\right)$$

Observaţie : Formula prezintă un coeficient de corecţie, λ_m, care se poate determina dintr-o familie de curbe $\left(\text{în funcţie de } \frac{yR_d - a'}{a'+b'}\right)$ reprezentate în figura alăturată

[4]

1. Polii se consideră de secţiune dreptunghiulară



Figură explicativă referitor la aplicarea metodei conductanţei mutuale electrice la calculul cuplului activ [19]

$$K_P = \frac{\omega_{a1}\, G}{2b_1}$$

$$G = \frac{\sigma}{4\pi}\left[l_1 \left(\ln \frac{l_{11}+l_1}{l_{11}-l_1} \cdot \frac{l_{12}+l_1}{l_{12}-l_1} - \ln \frac{d_{11}+l_1}{d_{11}-l_1} \cdot \frac{d_{12}+l_1}{d_{12}-l_1} \right) + \right.$$

$$+ l_0 \left(\ln \frac{d_{10}+l_0}{d_{10}-l_0} \cdot \frac{d_{20}+l_0}{d_{20}-l_0} - \ln \frac{l_{10}+l_0}{l_{10}-l_0} \cdot \frac{l_{20}+l_0}{l_{20}-l_0} \right) +$$

$$+ 2h_1 \ln \frac{d_{11}-h_1}{d_{10}-h_1} - 2h_2 \ln \frac{d_{12}+h_2}{d_{20}+h_2} - 2d_1 \ln \frac{l_{11}+d_1}{l_{10}-d_1} +$$

$$\left. + 2d_2 \ln \frac{l_{12}+d_2}{l_{20}+d_2} + 4\,(d_{11} - d_{10} + d_{12} - d_{20} - l_{11} + l_{10} - l_{12} + l_{20}) \right]$$

$$l_1 = l_0 + b_1 \qquad h_1 = d_1 + \delta \qquad h_2 = d_2 + \delta$$

$$l_{11} = \sqrt{d_1^2 + l_1^2} \qquad l_{12} = \sqrt{d_2^2 + l_1^2}$$

$$l_{10} = \sqrt{d_1^2 + l_0^2} \qquad d_{11} = \sqrt{h_1^2 + l_1^2}$$

$$d_{12} = \sqrt{h_2^2 + l_1^2} \qquad d_{10} = \sqrt{h_1^2 + l_0^2}$$

$$l_{20} = \sqrt{d_2^2 + l_0^2} \qquad d_{20} = \sqrt{h_2^2 + l_0^2}$$

[19]

1. Calculul se efectuează pe baza metodei conductanţei mutuale electrice

$$G = \frac{\sigma}{4\pi} \int_\Gamma \int_{\Gamma'} \frac{\overline{dl}\ \overline{dl'}}{r}$$

în care :

G este conductanţa mutuală electrică ;

Γ — linia medie a circuitului magnetic ;

Γ' — contur închis care mărgineşte curenţii Foucault utili

r — distanţa între elementele lineare $\overline{dl}$ şi $\overline{dl'}$

În formula (8) intervin deci :

b_1 care reprezintă valoarea instantanee a fundamentalei inducţiei ;

b_3 — valoarea instantanee a armonicei de ordin 3 a inducţiei.

Cele două valori b_1 şi b_3 corespund unei solenaţii sinusoidale.

Din studiul cercetătorilor C. A. Keener, M. A. Faucett şi M. S. Helm [8] se relevă prezenţa unor armonice în curbele de variaţie în timp ale fluxurilor magnetice în diferite zone ale întrefierului electromagneţilor de tensiune şi de curent.

b) Funcţionarea pe porţiunea lineară a caracteristicii de magnetizare determină, în cazul alimentării în regim sinusoidal, prezenţa unor fluxuri magnetice sinusoidale. În laboratorul de Măsurări Electrice al Institutului Politehnic s-au desfăşurat experienţe avînd ca obiect de studiu contorul Electromagnetica tip CAM 6 ; în figura 1 s-a reprezentat schema montajului realizat.

Pentru studiul fluxurilor am dispus bobine sondă în zonele care prezintă un deosebit interes : BS_1 pe coloana laterală a electromagnetului de

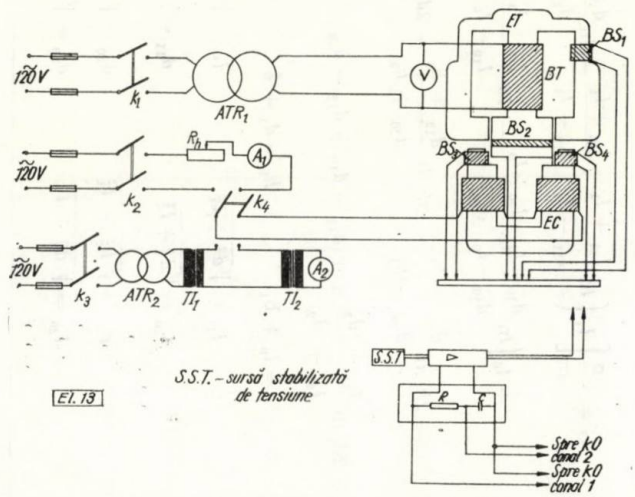


Fig. 1. Schema montajului realizat pentru studiul şi măsurarea fluxurilor magnetice

tensiune, BS_2 pe polul electromagnetului de tensiune, BS_3 şi BS_4 pe polii electromagnetului de curent.

În schemă s-a prevăzut posibilitatea alimentării separate a circuitelor de curent şi de tensiune ; pentru studiul regimului de suprasarcină, în circuitul de curent s-a utilizat transformatorul TI_1. În scopul obţinerii şi vizualizării fluxurilor magnetice s-au proiectat şi realizat un circuit integrator format din rezistenţe şi condensatoare ($R = 202$ k Ω, $C = 0{,}508$ μ F, $\tau = RC = 0{,}1025$ s) şi un amplificator special.

Din oscilogramele care reproduc alura de variaţie în timp a tensiunilor induse şi a fluxurilor magnetice la tensiune nominală U_n şi curenţi variabili în limitele 10 — 40 A, se constată sinusoidalitatea fluxurilor. În figura 2

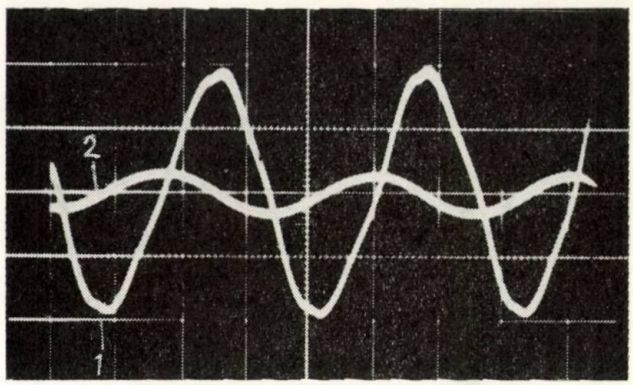


Fig. 2. Oscilograma nr. 14 :
1 — tensiune indusă ; 2 — fluxul magnetic.

este prezentată oscilograma nr. 14 (BS_2, $U = U_n = 220$ V, I = 40 A, f = 50 Hz.).

Observaţie

Tensiunea indusă prezintă o mică distorsiune ; deci curentul care străbate circuitul integrator RC rezultă nesinusoidal. Fluxul magnetic este proporţional cu tensiunea la bornele condensatorului $u_c = \frac{1}{C}\int idt$. În consecinţă, variaţia în timp a fluxului magnetic poate fi considerată practic sinusoidală (în unda fluxului armonicele vor fi atenuate).

La determinarea analitică a relaţiei de calcul a cuplului activ pentru contorul de inducţie cu disc se vor considera, variaţiile în timp ale inducţiilor magnetice sinusoidale.

2.1.2. Determinarea distribuţiei spaţiale a inducţiilor magnetice în întrefierul electromagneţilor de tensiune şi de curent s-a efectuat în laboratorul de Metrologie al FEA, utilizînd un Gaussmetru tip MR-3E clasă 1,5 cu sondă Hall, de fabricaţie DENSHIJIKI INDUSTRY. Montajul realizat a permis alimentarea separată a circuitelor de tensiune şi de curent dela o

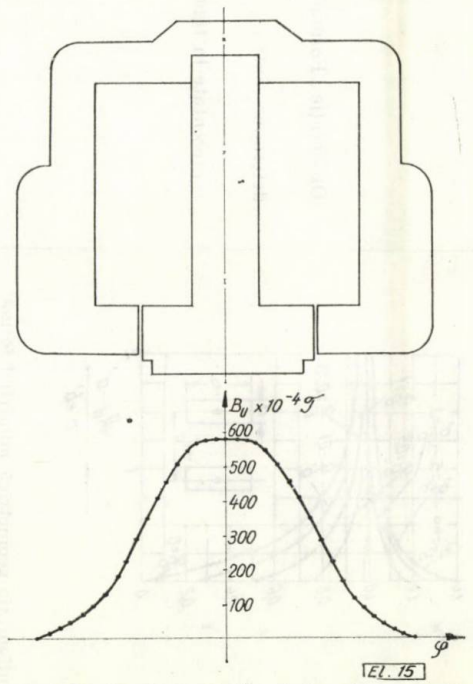


Fig. 3. Distribuţia spaţială a inducţiei magnetice în întrefierul electromagnetului de tensiune

sursă stabilizată; tensiunea și curentul au fost stabilite la valori nominale utilizînd aparate NORMA de clasă 0,2.

Măsurile efectuate au avut drept scop:

a) determinarea repartiției inducției magnetice B_U în întrefierul electromagnetului de tensiune pentru $U_n = 220$ V și I = 0 (fig. 3);

b) determinarea repartiției inducției magnetice $B_\Im$ în întrefierul electromagnetului de curent pentru $I_n = 10$ A și U = 0 (fig. 4).

Analizînd comparativ cu datele din literatura de specialitate [10] rezultatele experimentale proprii, se constată o asemănare considerabilă a alurei repartiției spațiale a inducțiilor magnetice utile.

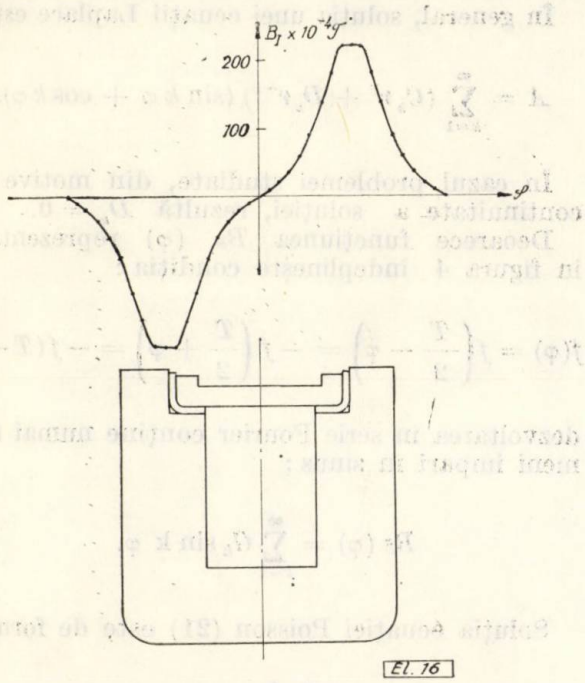


Fig. 4. Distribuția spațială a inducției magnetice în întrefierul electromagnetului de curent

2.1.3. Configurația geometrică a dispozitivului de măsură al contorului s-a reprezentat în figura 5.

Pentru obținerea unor relații de calcul mai simple, s-a presupus că polii au aceleași dimensiuni radiale și că centrele lor sînt dispuse pe același cerc.

2.1.4. Reacția magnetică a curenților turbionari se neglijează (efect pelicular slab), deoarece grosimea discului de aluminiu (1,2 mm) este mult mai mică decît adîncimea de pătrundere a curenților turbionari (12 mm).

2.1.5. Se consideră o problemă plan paralelă la care direcția cîmpului magnetic este paralelă cu axa OZ și mărimile depind numai de coordonatele r și φ.

2.2. Metoda de calcul

Se admite valabilitatea teoriei lui Rogowski, care presupune existența, într-o regiune bine definită a discului, a unor fluxuri magnetice variabile în timp, ce depind de tensiunea la bornele contorului și de curentul de sarcină. Fluxurile induc în disc curenți turbionari care

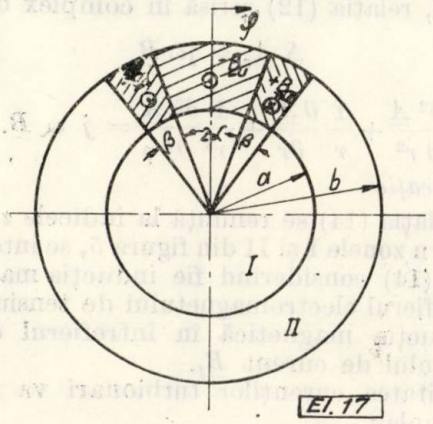


Fig. 5. Configurația geometrică admisă pentru sistemul activ al controlului

depind de t. e. m. de transformare și t. e. m. de rotație (proporțională cu viteza de rotație a discului).

Interacțiunea dintre fluxuri și curenții turbionari induși în disc produce un cuplu activ (proporțional cu puterea) M_P, un cuplu proporțional cu viteza de rotație și pătratul tensiunii M_U și un cuplu proporțional cu viteza de rotație și pătratul curentului de sarcină $M_\Im$. Cuplul rezultant $M(P, U^2, I^2, n)$ acționează asupra discului.

În figura 6 s-a ilustrat teoria lui Rogowski sub forma unei diagrame.

Pentru determinarea analitică a cuplului activ, discul se va considera fix, iar mărimile sinusoidal variabile în timp; relațiile pentru

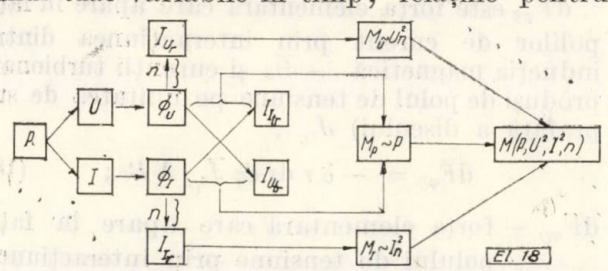


Fig. 6. Diagramă ilustrînd teoria lui Rogowski

intensitatea cîmpului E în disc se scriu deci sub forma:

$$\operatorname{div} \overline{E} = 0, \tag{9}$$

$$\operatorname{rot} \overline{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}. \tag{10}$$

Din relația (9) dacă se consideră $\overline{A}$ un potențial electric vector, rezultă:

$$\overline{E} = \operatorname{rot} \overline{A}. \tag{11}$$

Introducînd relația (11) în (10) se obține:

$$\operatorname{rot} \overline{E} = \operatorname{rot} \operatorname{rot} \overline{A} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \overline{A} - \Delta \overline{A} = -\frac{\partial B}{\partial t}, \tag{12}$$

Dacă se consideră div $\overline{A} = 0$ și deoarece potențialul electric vector $\overline{A}$ și inducția magnetică $\overline{B}$ au componente numai în direcția axei OZ, relația (12) scrisă în complex devine :

$$\Delta \underline{A}_z = j\omega \underline{B}_z \tag{13}$$

sau

$$\frac{\partial^2 \underline{A}}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \underline{A}}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \underline{A}}{\partial^2 \varphi} = j\ \omega\ \underline{B}. \tag{14}$$

Observație

În relația (14) se renunță la indicele z.

Pentru zonele I și II din figura 5, se integrează relația (14) considerînd fie inducția magnetică în întrefierul electromagnetului de tensiune $\underline{B}_U$, fie inducția magnetică în întrefierul electromagnetului de curent $\underline{B}_I$.

Densitatea curenților turbionari va fi dată de formula :

$$\overline{J} = \sigma \overline{E} = \sigma \text{ rot } \overline{A} = \frac{\sigma}{r}\begin{vmatrix} \overline{e}_r & r\overline{e}_\varphi & \overline{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \varphi} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{A} \end{vmatrix}. \tag{15}$$

Rezultă :

$$\underline{J}_r = \frac{\sigma}{r}\frac{\partial \underline{A}}{\partial \varphi}$$
$$\underline{J}_\varphi = -\sigma \frac{\partial \underline{A}}{\partial r}. \tag{16}$$

Cuplul activ este produs de forțele active care acționează în direcția φ. În scriere vectorială :

$$\overline{M}_P = \iint \overline{r}\ X\ d\overline{F}_{\varphi\Im} + \iint \overline{r}\ X\ d\overline{F}_{\varphi U} \tag{17}$$

în care :

$d\overline{F}_{\varphi\Im}$ este forța elementară care apare în fața polilor de curent prin interacțiunea dintre inducția magnetică $-\overline{B}_\Im$ și curenții turbionari produși de polul de tensiune pe unitatea de suprafață a discului) J_{r_U} ,

$$d\overline{F}_{\varphi\Im} = -\delta\ r\ dr\ d\varphi\ \overline{J}_{r_U}\ X B_\Im ; \tag{18}$$

$d\overline{F}_{\varphi U}$ — forța elementară care apare în fața polului de tensiune prin interacțiunea dintre inducția magnetică $-\overline{B}_U$ și curenții turbionari produși de poli de curent (pe unitatea de suprafață a discului) $\overline{J}_{r\Im}$,

$$d\overline{F}_{\varphi U} = -\delta\ r\ dr\ d\varphi\ \overline{J}_{r\Im}\ X\ \overline{B}_U. \tag{19}$$

Semnul (—) apare în relațiile (18) și (19) deoarece sensul forței, dată de interacțiunea dintre densitatea curenților turbionari $\overline{J}_r$ în direcție radială și inducția magnetică $\overline{B}_z$ orientată în sensul pozitiv al axei OZ, este opus sensului creșterii lui φ.

2.2.1. Calculul curenților turbionari

a) *Curenții turbionari induși de polii laterali (de curent) în disc.* Pentru zonele I și II se scrie relația (14), considerînd că numai în domeniul II inducția magnetică este diferită de zero :

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_I{}^\Im}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \underline{A}_I{}^\Im}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \underline{A}_I{}^\Im}{\partial \varphi^2} = 0 \tag{20}$$

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_{II}{}^\Im}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \underline{A}_{II}{}^\Im}{r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \underline{A}_{II}{}^\Im}{\partial \varphi^2} = j\omega\ \underline{B}_J(\varphi). \tag{21}$$

Soluția ecuației Laplace (2.19) este de forma :

$$\underline{A}_I{}^\Im = j\ \omega \underline{B}_\Im \sum_{k=1}^{\infty} C_{kI}\ r^k \sin\ k\varphi. \tag{22}$$

Observații

În general, soluția unei ecuații Laplace este :

$$A = \sum_{k=1}^{\infty} (C_k r^k + D_k r^{-k})(\sin k\varphi + \cos k\varphi).$$

În cazul problemei studiate, din motive de continuitate a soluției, rezultă $D_k = 0$.

Deoarece funcțiunea $B_\Im(\varphi)$ reprezentată în figura 4 îndeplinește condiția :

$$f(\varphi) = f\left(\frac{T}{2} - \varphi\right) = -f\left(\frac{T}{2} + \varphi\right) = -f(T - \varphi)$$

dezvoltarea în serie Fourier conține numai termeni impari în sinus :

$$B_\Im(\varphi) = \sum_{k=1}^{\infty} G_k \sin k\ \varphi.$$

Soluția ecuației Poisson (21) este de forma :

$$\underline{A}_{II}{}^\Im = j\omega\ B_\Im \sum_{k=1}^{\infty}\left(C_{kII} r^k + D_{kII} r^{-k} - \right.$$
$$\left. - \frac{G_k}{k^2 - 4} r^2\right) \sin k\ \varphi. \tag{23}$$

În relațiile (22) și (23) apar trei constante de integrare pentru fiecare armonică. Constantele C_{kI}, C_{kII} și D_{kII} se vor determina din condițiile la limită.

Din figura 5 rezultă :

$$\text{pentru } r = a \quad \underline{A}_I = \underline{A}_{II}$$
$$\frac{\partial \underline{A}_I}{\partial r} = \frac{\partial \underline{A}_{II}}{\partial r} \tag{24}$$
$$\text{pentru } r = b \quad \underline{A}_{II} = 0.$$

Pentru fiecare armonică de ordin k, se obține un sistem de trei ecuații cu trei necunoscute :

$$C_{kI}a^k \sin k\varphi = \left(C_{kII}a^k + D_{kII}a^{-k} - \frac{G_k}{k^2-4}\,a^2\right)\sin k\varphi$$

$$kC_{kI}a^{k-1}\sin k\varphi =$$

$$= \left(kC_{kII}\,a^{k-1} - kD_{kII}\,a^{-k-1} - 2a\frac{G_k}{k^2-4}\right)\sin k\varphi$$

$$\left(C_{kII}\,b^k + D_{kII}\,b^{-k} - b^2\frac{G_k}{k^2-4}\right)\sin k\varphi = 0. \quad (25)$$

Deoarece în calculul momentului intervin numai constantele din domeniul II, sistemul format din ecuațiile (25) se rezolvă în raport cu C_{kI} și D_{kII}.

Rezultă:

$$D_{k_{II}} = \frac{a^{k+2}}{2k\,(k+2)}G_k$$

$$C_{k_{II}} = \frac{G_k}{2k\,(k^2-4)}\,[2kb^{2-k} - (k-2)\,a^{k+2}b^{-2k}]. \quad (26)$$

Observație

La calculul cuplului activ (respectiv al forțelor tangențiale) intervine numai componenta radială a densității de curent J_{II_r}.

Conform (16),

$$\underline{J}_{r_J} = \frac{\sigma}{r}\frac{\partial \underline{A}}{\partial\varphi} = j\omega\sigma\underline{B}_\Im \sum_{k=1}^{\infty} k\cos k\varphi\left[C_{kII}\,r^{k-1} + D_{kII}\,r^{-(k+1)} - G_k\frac{r}{k^2-4}\right]$$

$$= j\omega\sigma\underline{B}_\Im \sum_{k=1}^{\infty}\frac{G_k}{2k\,(k^2-4)}\{[2kb^{2-k} - (k-2)a^{k+2}b^{-2k}]\cdot$$

$$\cdot r^{k-1} + (k-2)\,a^{k+2}\,r^{-k-1} - 2kr\}\cdot k\cos k\varphi. \quad (27)$$

b) *Curenții turbionari induși de polul central (de tensiune) în disc.* Calculul se conduce analog ca la punctul 2.2.1.a. cu observația că intervin inducția magnetică $(-B_U)$ și evident $\underline{A}_{IU}$ și A_{IIU}

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_{IU}}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \underline{A}_{IU}}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \underline{A}_{IU}}{\partial\,\varphi^2} = 0 \quad (28)$$

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_{IIU}}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \underline{A}_{IIU}}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \underline{A}_{IIU}}{\partial\varphi^2} = -j\omega\underline{B}_U(F_0 + \sum_{k=1}^{\infty}F_k\cos k\varphi). \quad (29)$$

Observație

Funcția $\underline{B}_U(\varphi)$ se poate dezvolta în serie Fourier de cos și conține și un termen constant.

Soluția ecuației Laplace este de forma:

$$\underline{A}_{IU} = -j\,\omega\,\underline{B}_U N_{I_0} - j\,\omega\,\underline{B}_U\sum_{k=1}^{\infty}M_{Ik}r^k\cos k\varphi. \quad (30)$$

Soluția ecuației Poisson este:

$$\underline{A}_{IIU} = -j\,\omega\underline{B}_U\left(\frac{r^2}{4}F_0 + N_{II_0}\ln\frac{r}{M_{II_0}}\right) -$$

$$-j\,\omega\underline{B}_U\left[\frac{F_2}{4}r^2\left(\ln\frac{r}{M_{II_2}} - \frac{1}{4}\right) + N_{II_2}\,r^{-2}\right]\cos 2\varphi -$$

$$-j\,\omega\underline{B}_U\sum_{k\neq 2}\left(M_{IIk}r^k + N_{IIk}r^{-k} - F_k\frac{r^2}{k^2-4}\right)\cos k\varphi. \quad (31)$$

Pe baza condițiilor pe frontieră se determină constantele de integrare care intervin la calculul componentei radiale a densității curenților induși, și anume:

$$N_{II2} = \frac{F_2}{8}\frac{a^4}{2}$$

$$M_{II2} = \frac{b}{e^{\frac{b^4-a^4}{4b^4}}} \quad (32)$$

$$M_{IIk} = \frac{F_k}{2k(k^2-4)}[2kb^{2-k} - (k-2)\,a^{k+2}\,b^{-2k}]$$

$$N_{IIk} = \frac{a^{k+2}}{2k\,(k+2)}F_k$$

Componenta radială a densității curenților turbionari induși de polul de tensiune este dată de expresia:

$$\underline{J}_{r_U} = \frac{\sigma}{r}\frac{\partial A}{\partial\varphi} = j\,\omega\,\sigma\underline{B}_U\frac{F_2}{2}\sin 2\varphi\left[\left(\ln\frac{r}{b} + \frac{b^4-a^4}{4b^4} - \frac{1}{4}\right)r + \frac{a^4}{4}r^{-3}\right] + j\omega\sigma\,\underline{B}_U\sum_{k\neq 2}k\sin k\varphi\left[M_{IIk}r^{k-1} - N_{IIk}r^{-(k+1)} - F_k\frac{r}{k^4-4}\right] =$$

$$= j\,\omega\,\sigma\underline{B}_U\frac{F_2}{2}\sin 2\varphi\left[\left(\ln\frac{r}{b} + \frac{b^4-a^4}{4b^4} - \frac{1}{4}\right)r + \frac{a^4}{4}r^{-3}\right] + j\omega\sigma\,\underline{B}_U\sum_{k=1}^{\infty}\frac{F_k}{2k(k^2-4)}\{[2kb^{2-k} - (k-2)\,a^{k+2}\,b^{-2k}]r^{k-1} + (k-2)\,a^{k+2}\,r^{-k-1} - 2kr\}\,k\sin k\varphi. \quad (33)$$

2.2.2 Calculul cuplului activ

Deoarece $\overline{J}_r$ și $\overline{B}_z$ sînt funcții sinusoidale de timp, cuplul dat de relația (17) rezultă pulsatoriu.

Pentru determinarea valorii medii a cuplului activ se consideră $\overline{J}_r$ și $\overline{B}_z$ reprezentate în complex.

$$\widetilde{M}_P = -\delta \,\text{Real}\left[\iint r^2 dr\, d\varphi\, \underline{J}_{r_U}(\underline{B}_\Im)^*\right] + \\ +\delta\,\text{Real}\left[\iint r^2\, dr\, d\varphi\, \underline{J}_{r_I}(\underline{B}_U)^*\right] \quad (34)$$

Se adoptă într-o diagramă fazorială $\underline{B}_\Im$ ca origină de fază iar $\underline{B}_U$ defazat în urmă față de $\underline{B}_\Im$ cu un unghi ψ:

$$\underline{B}_\Im = B_\Im$$
$$\underline{B}_U = B_U\, e^{-j\psi}$$

Cuplul corespunzător interacțiunii dintre inducția magnetică a polilor de curent și curenții turbionari induși de polul de tensiune este dat de relația:

$$\widetilde{M}_{P_1} = -\delta\,\text{Real}\,[\iint r^2\, dr\, d\varphi\, \underline{J}_{r_U}(\underline{B}_J)^*] =$$

$$= -2\,\delta\,\omega\,\sigma\,B_J \int_\alpha^{\alpha+\beta} d\varphi\,\text{Real}\,[je^{-j\psi}] J_{r_U} r^2\, dr \quad (35)$$

Cuplul $\widetilde{M}_{P_1}$ poate fi scris sub forma:

$$\widetilde{M}_{P_1} = 2\,\delta\,\omega\,\sigma\,B_\Im\,B_U \sin\psi\, K_{P_1} \quad (36)$$

unde

$$K_{P1} = -\int_\alpha^{\alpha+\beta} d\varphi \int_a^b J_{r_U} \frac{r^2 dr}{B_U} = -\frac{F_2}{64}[\cos 2\alpha - \\ -\cos 2(\alpha+\beta)]\left[(b^4-a^4)\left(\frac{b^4-a^4}{b^4}-2\right)+\right.$$

$$\left.+8a^4 \ln\frac{b}{a}\right] - \sum_{k\neq 2}[\cos k\alpha - \cos k(\alpha+\beta)]$$

$$\left[\frac{M_{IIk}}{k+2}(b^{k+2}-a^{k+2}) - \frac{N_{IIk}}{k-2}(b^{2-k}-a^{2-k}) - \right.$$

$$\left.\frac{F_k}{4}\frac{b^4-a^4}{k^4-4}\right] = -\frac{F_2}{64}[\cos 2\alpha - \cos 2(\alpha+\beta)]\left[(b^4 - \right.$$

$$\left.-a^4)\left(\frac{b^4-a^4}{b^4}-2\right)+8a^4\ln\frac{b}{a}\right] - \sum_{k\neq 2}\cos k\alpha -$$

$$-\cos k(\alpha+\beta)]\,\frac{F_k}{4k(k^2-4)(k+2)}[(k- \\ -2)(2a^{2(k+2)}b^{-2k} - kb^4!) + a^4(k+2)^2 - 8ka^{k+2}b^{2-k}]. \quad (37)$$

Cuplul corespunzător interacțiunii dintre inducția magnetică a polului de tensiune și curenții turbionari induși de polii de curent este:

$$\widetilde{M}_{P2} = 2\,\delta\,\omega\,\sigma\,B_U \int_5^\alpha d\varphi \int_a^b \text{Real}\,(je^{j\psi})\, J_{r\Im}\, r^2 dr. \quad (38)$$

Cuplul M_{P2} poate fi scris și sub forma:

$$\widetilde{M}_{P2} = 2\,\delta\,\omega\,\sigma\,B_U\,B_\Im \sin\psi\, K_{P2} \quad (39)$$

în care:

$$K_{P2} = -\int_0^\alpha d\varphi \int_a^b J_{r_J}\frac{r^2\,dr}{B_J} = -$$

$$-\sum_{k=1}^\infty \sin k\alpha\left[\frac{C_{IIk}}{k+2}(b^{K+2}-a^{K+2}) - \right.$$

$$\left.-\frac{D_{IIk}}{k-2}(b^{2-k}-a^{2-k}) - \frac{G_k}{4}\frac{b^4-a^4}{k^2-4}\right] =$$

$$= -\sum_{k=1}^\infty \sin k\alpha \cdot \frac{G_k}{4k(k^2-4)(k+2)}[(k- \\ -2)(2a^{2(k+2)}b^{-2k} - kb^4) + a^4(k+ \\ +2)^2 - 8ka^{k+2}\cdot b^{2-k}]. \quad (40)$$

Cuplul activ rezultă deci:

$$M_P = 2\,\delta\,\omega\,\sigma\,B_\Im\,B_U \sin\psi\cdot(K_{P1}+K_{P2}). \quad (41)$$

Relația (41) evidențiază aspecte cunoscute, și anume:

— discul se rotește în sensul de la polul al cărui flux magnetic se ia ca origine de fază către celălalt pol, al cărui flux este defazat în urmă;

— cuplul de rotație este proporțional cu frecvența, grosimea discului, conductibilitatea discului, cu produsul celor două fluxuri magnetice și sinusul unghiului de defazaj dintre ele.

În relația (41) intervine o sumă a două constante K_{P1} și K_{P2} care depind numai de configurația geometrică a sistemului.

Observație

La calculul analitic al cuplului se consideră o repartiție dreptunghiulară a inducțiilor sub pol (suprafața dreptunghiului se ia egală cu aria mărginită de curbele reale determinate cu sonda Hall).

3. Concluzii

În prima parte a lucrării sînt prezentate sistematizat formulele de calcul ale constantei K_P care intervine în expresia cuplului activ,

pentru diferite configuraţii geometrice, ceea ce prezintă utilitate în proiectarea contorului.

— Metoda prezentată în partea a doua se bazează pe studiul experimental al distribuţiei spaţiale a inducţiilor magnetice în întrefierul polilor electromagneţilor de tensiune şi de curent. Se determină astfel coeficienţii dezvoltărilor în serie Fourier, G_k şi F_k.

— Modelul admis pentru forma polilor — patrulatere curbilinii — (fig. 5.) este foarte apropiat de cazul real

— Relaţiile (37) şi (40) permit — cu ajutorul unui calculator — trasarea unor familii de curbe care să faciliteze calculul constantelor K_{P1} şi K_{P2}.

— Pentru contorul Electromagnetica tip CAM-6 a fost condus calculul cuplului activ, aplicînd relaţiile demonstrate şi s-a constatat o bună concordanţă cu valoarea măsurată experimental, $0{,}488 \times 10^{-3}$ Nm faţă de $0{,}5 \times 10^{-3}$ Nm (în calcule s-a considerat : $a = 30$ mm, $b = 45$ mm, $\alpha = 20°$, $\beta = 15°$).

Notaţii utilizate

P — puterea electrică activă integrată de contor
U — tensiunea la bornele bobinei de tensiune
I — curentul de sarcină care parcurge bobina de curent a contorului
Φ_U — fluxul magnetic activ în întrefierul electromagnetului de tensiune
$\Phi_\Im$ — fluxul magnetic activ în întrefierul electromagnetului de curent
ψ — defazajul dintre fluxuri
I_{Utr} — curenţii turbionari în disc produşi de t. e. m. de transformare indusă de Φ_U
I_{Ur} — curenţii turbionari în disc produşi de t. e. m. de rotaţie indusă de Φ_U
I_{Itr} — curenţii turbionari în disc produşi de t. e. m. de transformare indusă de $\Phi_\Im$
I_{Ir} — curenţii turbionari în disc produşi de t. e. m. de rotaţie indusă de $\Phi_\Im$
M_P — cuplul activ care acţionează asupra discului
M_U — cuplul de frînare al discului, proporţional cu pătratul tensiunii şi cu viteza de rotaţie a discului
M_I — cuplul de frînare a discului, proporţional cu pătratul curentului şi cu viteza de rotaţie a discului
n — viteza de rotaţie a discului
K_P — constantă în expresia cuplului activ care depinde de configuraţia geometrică, de traiectoriile curenţilor turbionari şi înlănţuirea lor cu fluxurile magnetice
$\underline{A}$ — potenţial electric vector (funcţie complexă)
$\underline{B}$ — inducţia magnetică (reprezentare în complex)
C_k, D_k, M_k, N_k — constante de integrare
$\underline{J}$ — densitatea curenţilor turbionari în disc
$\underline{E}$ — intensitatea cîmpului electric
$\underline{\theta}$ — solenaţia
a, b — mărimi care descriu dimensiunile şi forma polilor
α, β — unghiuri care dau poziţia şi lăţimea polilor
Δ — simbolul operatorului Laplace
δ — grosimea discului
σ — conductibilitatea materialului discului
Real ($\underline{Z}$) — partea reală a numărului complex $\underline{Z}$
$\underline{Z}^*$ — numărul complex conjugat al lui $\underline{Z}$

Bibliografie

[1] *Bull, B. K.* Rascet vraşciaiuşcevo momenta induçionnovo rele napravlenia moşcinosti. În : Electricestvo, nr. 4, 1964.

[2] *Cupşa, A.* Contribuţii la calculul momentului de rotaţie la dispozitivele de măsură inductive cu disc. În : S.C.E.E. tome XV, nr. 2, 1970.

[3] *Davies, E. J.* An experimental and theoretical study of eddy currents couplings and brakes. În : I. E. E. E. Transactions, p C, 1963, nr. 3.

[4] *Goriunov, P. N., Pighin, S.M.* şi *Şumilovski, N.N.* Contoare electrice. Bucureşti, Editura Energetică de Stat, 1954.

[5] *Grosse — Brauckmann, H.* şi *Hueter, E.* Über die Drehfeldtheorie des Wechselstromzählers. În : E. T. Z., Heft 17, 1953, pag. 505.

[6] *Iliovici, A.* Sur la théorie des compteus d'induction à disque. În : La lumière élèctrique, tome XIII (2-e Série, nr. 6, p. 163—170 şi p. 195—202).

[7] *Iliucovici, A., M.* Novoe v teorii induçionnîh sciotcicov. În : Izmeritelnaia tehnica, nr. 5, 1955, p. 11.

[8] *Keener, C. A., Faucett, M. A.* şi Helm *M. S.* Magnetic fields in watthour meters. În : A. I. E. E. Trans., vol. 60, 1941, p. 202—205.

[9] *Moore, A. D.* Eddy currents in disk. Driving and damping forces and torques. În : A. I. E. E. Transactions vol. 66, 1947, p. 1—11.

[10] *Podemski A.* Existing theories of operation meters. Proc. I. E. E., vol. 112, nr. 8 1965, p. 1595—1600.

[11] *Răduleţ, R.* şi *Ifrim, A.* Aplicarea prezentării maxwelliene în teoria curenţilor turbionari în plăci subţiri. În : S. C. E. E., nr. 2, 1967, p. 329—339.

[12] *Răduleţ, R.* şi *Ifrim, A.* Contribuţii la teoria frînelor de inducţie cu disc neferomagnetic. În : S. C. E. E., nr. 1, 1961, p. 99—123.

[13] *Rogowski, W.* Über die Vorgänge in der Scheibe eines Wechselstromzählers. În : E. u. M., 1971, p. 915.

[14] *Rogowski, W., Steinhaus, W.* Uber die induzierte Strömung und das Drechmoment der Scheibe des Wechselstromzählers. În : A. f. E., nr. 1, 1913,

[15] *Shotter, G. F.* Digression on the rotating or shifing field theory versus the transformer theory as applied to electricity meters and instruments. În : J. I. E. E. 1937, p. 13.

[16] *Shotter, G. F.* Parasitic forces existing in induction wathour meters În : Proc. I. E. E., 1949, p. 729—751.

[17] *Smythe, W. R.* On eddy currents in a rotating disk. În : A.I.E.E. Trans, vol. 61, 1942, p. 681—682.

[18] *Soutar, H. R., Malik, O. P.* : Theoretical analysis of a single-phase induction watthour meter. În : I. E. E. E., Transactions, P. A. S.-88, nr. 8, 1969.

[19] *Zlatev, M. P.* şi *Panamsky, I. M.* Determination du moment de rotation des relais d'induction a disque. Mesures et controle industriel, nr. 306, 1962, p. 1375—1377.

Intrat în redacţie 5. VII. 1972

Ferite de litiu pentru memorii magnetice

POMPILIU NICOLAU, AUREL KLEIN şi EMILIA VĂRZARU* — Bucureşti

CZ 621.318.33 Li

Feritele de litiu de tipul $Li_{0,5-x}Me_{2x}Fe_{2.5-x}O_4$, unde Me = Cu, Ni, Mn, Zn, Cd iar $0 \leqq x \leqq 0,1$, sînt în general ferite cu ciclu histerezis dreptunghiular spontan, ceea ce permite utilizarea lor ca miezuri magnetice în memoriile calculatoarelor electronice. Coeficientul de inversare nu este atît de redus ca la ferita de mangan-magneziu, în schimb stabilitatea termică a acestor ferite le situează printre cele cu performanţe maxime din acest punct de vedere. Aceste particularităţi ale feritei de litiu se datorează temperaturii Curie neobişnuit de ridicate (peste 600°C) ca şi ordonării cationice suprastructurale, şi au generat o intensă activitate de cercetare atît a proprietăţilor fizice ale materialelor cît şi a unor procedee de fabricaţie a miezurilor pentru memorii.

În tabela 1 sînt prezentate principalele performanţe electrice ale miezurilor de memorii avînd la bază ferita de litiu cu diverse adaosuri.

$\varnothing_{ext}/\varnothing_{int}$ — diametrul exterior/diametrul interior al miezurilor, mm;

B_r/B_m — inducţia remanentă/inducţia maximă;

H_c — cîmpul coercitiv, în A/m;

I_n — valoarea nominală a curentului de comutare, în mA;

rV_1/dV_z — raport maxim în impuls (în paranteză se trece raportul de perturbare);

t_s — timpul de inversare (în microsecunde).

În lucrarea de faţă sînt prezentate rezultatele cercetărilor efectuate în colaborare de către Institutul de Fizică Bucureşti şi Institutul de Cercetări pentru Electronică şi Tehnica de Calcul în beneficiul M.I.C.M., în vederea obţinerii unor ferite cu bună stabilitate termică utilizabile în memoria calculatoarelor electronice. Rezultatele obţinute permit în continuare elaborarea unei tehnologii de fabricaţie originale care să conducă la producerea unor miezuri de memorii comparabile cu cele aflate pe piaţa mondială.

În primul capitol al lucrării, sînt prezentate pe scurt proprietăţile mai importante ale acestor materiale ca şi rezultatele măsurătorilor fizice efectuate de autori. În continuare, sînt prezen-

Tabela 1

Compoziţia	$\varnothing ext/\varnothing int$ mm	B_r/B_m	H_c, A/m	I_n, mA	rV_1/dV_z	t_s, μs	Referinţe bibl.
$Li_{0.49}Mn_{0.02}Fe_{2.49}O_4$	—	0,92	256	—	—	—	[1]
$Li_{0.48}Ni_{0.04}Fe_{2.48}O_4$	—	0,92	256	—	—	—	[1]
$Li_{0.48}Cu_{0.04}Fe_{2.48}O_4$	—	0,92	280	—	—	—	[1]
$Li_{0.46}Cu_{0.04}Zn_{0.04}Fe_{2.46}O_4$	—	0,92	280	—	—	—	[1]
$Li_{0.43}Cu_{0.04}Zn_{0.10}Fe_{2.43}O_4$	043/0,31	0,92	400—560	500—780	$\geqq 5$(p=0,6)	$\leqq 0,3$	[1]
$Li_{0.63}Ni_{0.08}Zn_{0.08}Fe_{2.21}O_4$	1,25/0,8	—	160	—	$\geqq 4$(p=0,5)	—	[2]
$Li_{0.455}Ni_{0.04}Fe_{2.455}O_4$	0,8/0,5	0,92	160	490	$\geqq 4$(p=0,6)	$\leqq 0,7$	[3]
76,5 %Fe_2O_3+13,5 %Li_2O+7,3 %MnO+ +0,5 %ZnO+2,2 % SiO_2	0,5/0,3	—	—	850	$\geqq 5,8$	$\leqq 0,23$	[4]
80 % Fe_2O_3+14 % Li_2O+4,5 % MnO+1,5 %SiO_2	1,3/0,8	—	—	550	$\geqq 5,5$	$\leqq 1,2$	[4]
$Li_{0.5}Mn_{0.1}Fe_{2.4}O_4$	1,0/0,7	—	—	—	$\geqq 7$(p=0,6)	—	[5]
79 %Fe_2O_3+14,55 %Li_2O+6,45 %NiO	1,3/0,8	—	—	—	$\geqq 4$	$\leqq 0,7$	[6]
79 %Fe_2O_3+14,55 %Li_2O+6,45 %NiO	0,54/0,35	—	—	995	$\geqq 8$	$\leqq 0,2$	[7]
74,6 %Fe_2O_3+14,2 %Li_2O+4,9 %MnO+6,3 %NiO	0,8/0,5	—	—	—	$\geqq 4$	0,5—08	[8]

În prima coloană este dată formula sau compoziţia de preparare a feritei aşa cum este prezentată de autorii indicaţi în ultima coloană. În coloanele următoare sînt indicate dimensiunile şi performanţele publicate, respectîndu-se următoarea notaţie :

* Fizician *P. Nicolau* şi chim. *E. Vărzaru* lucrează la Inst. de Fizică Bucureşti, iar ing. *A. Klein* lucrează la Institutul de Cercetări electronice.

tate metodele preparative încercate şi rezultatele semnificative obţinute în măsurătorile de parametri statici şi în impuls.

1. Proprietăţile fizico-chimice ale feritei de litiu

Ferita de litiu, $Li_{0.5}Fe_{2.5}0_4$, este din punct de vedere cristalin un spinel cubic cu constanta de reţea a = 8,314 ÷ 8,37 Å, şi cu distribuţia de cationi Fe^{3+} $[Li^{1+}_{0.5}\ Fe^{3+}_{1.5}]$ 0_4 [9], [10], [11]. Braun [12] pune în evidenţă existenţa unei suprastructuri datorită ordonării şirului de cationi Fe^{3+} şi Li^{1+} din subreţeaua octaedrică pe direcţia [110] în raportul 3/1, la temperaturi sub 750°C. Peste 750°C această ordonare dispare şi prin călire de la temperaturi superioare lui 800°C ferita de litiu poate fi obţinută în stare dezordonată. Fenomenul a fost studiat prin difracţie de raze X cu ajutorul unei camere de temperatură înaltă [11] şi s-a trasat variaţia cu temperatura a parametrului de ordine s şi a celui de reţea a într-un domeniu larg de temperatură, depăşind temperatura de tranziţie.

Folen [13], deduce din analiza rezultatelor măsurătorilor constantei de anizotropie şi magnetostricţie, posibilitatea existenţei unei slabe distorsiuni romboedrice care însoţeşte starea ordonată.

Braun [12] explică forma dreptunghiulară a ciclului histerezis la ferita de litiu prin existenţa ordinei suprastructurale susamintite. Într-adevăr, ferita dezordonată nu mai are ciclu histerezis dreptunghiular.

Valorile raportate în literatură pentru magnetizarea la saturaţie ($4\pi M_s$) cît şi pentru temperatura Curie (T_C) diferă destul de mult de la autor la autor fiind cuprinse între 0,24—0,39 T şi respectiv 590° — 680°C [14]. Este de remarcat de asemenea că aceşti parametri magnetici nu depind de starea de ordonare suprastructurală. Rezistivitatea electrică a feritei de litiu prezintă în schimb diferenţe mari între valorile măsurate pe ferita ordonată (10^5 — 10^6 ohm. cm) şi cea dezordonată (10^2 ohm/cm) [15].

Pentru materialele elaborate în lucrarea de faţă, s-au efectuat măsurători de magnetizare la saturaţie, de temperatură Curie şi rezistivitate electrică. Magnetizarea la saturaţie ($4\pi M_s$) a fost măsurată la temperatura camerii cu ajutorul unui magnetometru vibraţional [16]. S-au obţinut valori cuprinse între 0,35—0,40 T la temperatura camerii.

Temperatura Curie, măsurată cu o balanţă de susceptibilitate în domeniul paramagnetic, a avut valori cuprinse între 630°C pentru $Li_{0,5}Fe_{2,5}0_4$ şi 608°C pentru $Zn_{0.06}Li_{0.47}Fe_{2.47}0_4$. Rezistivitatea electrică a avut valori cuprinse între 10^5 — 10^7 Ω cm. De menţionat că toate probele au fost ordonate, doar acest tip prezentînd interes din punct de vedere aplicativ.

2. Elaborarea miezurilor pentru memorii

În vederea elaborării miezurilor pentru ferită, s-au experimentat mai multe metode preparative prepararea din soluţie (sincristalizarea); metoda ceramică standard; o metodă hibridă rezultată din combinarea celor două.

Prima metodă — sincristalizarea — [17] constă în descompunerea termică a complecşilor organometalici obţinuţi prin evaporarea soluţiilor de oxalaţi complecşi. Această metodă posedă avantajele unei omogenizări perfecte, şi a unei temperaturi scăzute de feritizare (300 — — 400°C). Sinterizarea, în schimb, se face dificil, pulberea calcinată nefiind deloc reactivă, fapt care obligă adăugarea unor fondanţi.

Metoda ceramică standard, în care se amestecă în moară cu bile oxizii sau carbonaţii metalici, prezintă inconveniente atît sub aspectul omogenizării cît şi al păstrării stoichiometriei amestecului deoarece carbonatul de litiu este parţial solubil în apă.

Metoda hibridă încercată a constat în formarea unei suspensii de oxid feric într-o soluţie de acetaţi şi evaporarea acesteia prin agitare continuă. Metoda conţine avantajele şi dezavantajele primelor două.

Miezurile de ferită prezentate în lucrarea de faţă au fost obţinute prin prima metodă, iar ca fondant s-a utilizat Bi_2O_3 în proporţie de 1—4%. Miezurile au fost presate în forme toroidale cu $Ø_{ext}$ = 1,5 mm, $Ø_{int}$ = 1 mm şi h = = 0,5 mm. Sinterizarea probelor s-a efectuat în atmosferă de oxigen la temperaturi cuprinse între 900—1100°C. După sinterizare miezurile s-au contractat, diametrul exterior scăzînd la 1,4 mm. Pentru unele măsurători fizice au fost preparate separat cu ajutorul unei prese izostatice probe masive care au fost apoi tratate termic în condiţii similare cu miezurile de memorii.

3. Parametrii electromagnetici statici şi în impuls

Miezurile de memorii confecţionate din ferite de litiu fără şi cu adaosuri de Cu şi Zn, au fost măsurate în regim static, pentru stabilirea parametrilor ciclului histerezis: H_c, B_r/B_m şi $R_s = B(-H_m/2)/B_m$. Miezurile care au prezentat un curent normal mai mic de 1000 mA au fost măsurate şi în regim de impulsuri, pentru stabilirea parametrilor în impulsuri: I_n, rV_1, dV_z şi t_s. S-a determinat de asemenea şi stabilitatea termică a cîmpului coercitiv şi a cîmpului critic (la colţul ciclului histerezis) care determină gama de temperaturi de lucru admisibile.

Pentru măsurarea parametrilor statici s-a utilizat o instalaţie compusă dintr-un aparat Ferotester, un amplificator adaptat la intrarea acestuia şi care asigură amplificarea semnalului, un circuit de compensare a erorilor de fază, aparatura de reglaj şi control a curentului de

magnetizare şi un termostat pentru gama de temperaturi 20—150°C.

Pentru măsurarea parametrilor de impuls s-a utilizat o instalaţie compusă dintr-un generator de impulsuri dreptunghiulare cu 32 tacte, cu front, durată, amplitudine (două nivele + şi două nivele —), defazare şi frecvenţă de repetiţie reglabilă, un osciloscop cu sensibilitate 1 mV/cm şi bandă de trecere 5 MHz şi un cap de măsură.

În tabela 2 sînt prezentate rezultatele măsurătorilor statice efectuate pe probele de ferite de litiu cu diverse compoziţii. În cazul fiecărei compoziţii se pot obţine diverse valori ale parametrilor H_c, B_r/B_m, $R_{s\max}$ în funcţie de regimul de sinterizare, regimul optim corespunzînd valorilor maxime ale rectangularităţii.

Tabela 2

Parametrii statici ai feritelor de litiu

Formula structurală a feritei	H_c, A/m	B_r/B_m la $H_m \approx 1{,}5H_c$	R_s max
$Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$	368	0,88	0,70
	304	0,90	0,75
	216	0,88	0,71
$Li_{0,49}Zn_{0,02}Fe_{2,49}O_4$	352	0,87	0,68
	248	0,87	0,68
	168	0,87	0,68
$Li_{0,48}Zn_{0,04}Fe_{2,48}O_4$	496	0,88	0,70
	204	0,91	0,78
	136	0,89	0,72
$Li_{0,47}Zn_{0,06}Fe_{2,47}O_4$	520	0,88	0,70
	160	0,89	0,73
$Li_{0,49}Cu_{0,02}Fe_{2,49}O_4$	592	0,96	0,66
	464	0,88	0,70
	232	0,87	0,69
$Li_{0,48}Cu_{0,04}Fe_{2,48}O_4$	632	0,87	0,67
	464	0,90	0,74
	344	0,90	0,75
$Li_{0,47}Cu_{0,06}Fe_{2,47}O_4$	576	0,88	0,70
	392	0,89	0,73
	232	0,89	0,73

În tabela 3 sînt prezentate rezultatele măsurătorilor în impuls efectuate pe probele de ferită de litiu-zinc, din care rezultă limitele curenţilor de acţionare între care raportul rV_1/dV_z este mai mare ca 4.

În tabela 4 sînt prezentate rezultatele măsurătorilor de stabilitate termică a cîmpului coercitiv şi a cîmpului critic la feritele de litiu-zinc şi litiu-cupru. Limita inferioară a temperaturii de lucru (la cîmp H_m constant) corespunde valorii $H_{cr}/H_m = 0{,}60$, iar limita superioară, valorii $H_{cr}/H_m = 0{,}50$.

Pe baza datelor prezentate în tabelele 2, 3, 4, se pot face următoarele observaţii.

1) Cantitatea şi natura adaosurilor la ferita de litiu determină domeniul de cîmp coercitiv

Tabela 3

Parametrii în impuls ai miezurilor de memorie $\varnothing_e = 1{,}3$ mm din ferită de litiu-zinc în condiţii de perturbare $I_p/I_n = 0{,}61$, frontul impulsurilor $T_f = 0{,}2$ μs, durata impulsurilor $T_d = 3$ μs

Parametrii în impuls \ Jn (mA)	600	700	800	900
rV_1 mV	41	72	90	70
dV_z mV	10	12	12	44
t_s, μ s	1,20	1,16	1,16	1,16

Tabela 4

Variaţia cu temperatura a cîmpului coercitiv şi a cîmpului critic la feritele de litiu-zinc şi litiu-cupru

Formula structurală a feritei	H_m, A/m	T°C	23	67	100	110	135
$Li_{0,48}Zn_{0,04}Fe_{2,48}O_4$	216	H_cA/m	144	131	126	122	—
		H_{cr}/H_m	0,60	0,54	0,52	0,50	—
$Li_{0,48}Cu_{0,04}Fe_{2,48}O_4$	680	H_cA/m	464	448	437	—	424
		H_{cr}/H_m	0,60	0,54	0,52	—	0,50

în care se obţine maximum de rectangularitate valoarea absolută a rectangularităţii maxime şi stabilitatea termică a cîmpului coercitiv. Astfel, dacă se urmăreşte obţinerea maximului de rectangularitate la cîmpuri coercitive în jur de 160 A/m, este indicată ferita de litiu-zinc cu conţinut de zinc de $x = 0{,}04$, iar dacă se urmăreşte obţinerea maximului de rectangularitate la cîmpuri coercitive în jur de 480 A/m este indicată ferita de litiu-cupru cu conţinut de cupru $x = 0{,}04$.

2) Rectangularitatea în impuls a feritei de litiu-zinc în condiţii grele de încercare $I_p/I_n = 0{,}61$ satisface condiţia $rV_1/dV_z = 4$, timpul de inversare fiind practic independent de curentul de acţionare.

3) Stabilitatea termică a cîmpului coercitiv H_c şi a cîmpului critic H_{cr} la feritele de litiu-zinc şi litiu-cupru este deosebit de ridicată, în special la cea din urmă. Calculînd coeficienţii de variaţie cu temperatura cîmpurilor H_c şi H_{cr} rezultă în toate cazurile valori mai mici de $0{,}2^0/_{00}$C. Precizăm că feritele de mangan-magneziu fără adaosuri de zinc prezintă un coeficient corespunzător de 0,5 %/°C.

4. Concluzii

În urma cercetărilor prezentate în lucrarea de faţă s-au investigat o serie de materiale utilizabile în producţia de ferite pentru memorii magnetice, obţinîndu-se următoarele rezultate :

— miezuri cu ciclu histerezis dreptunghiular, cîmp coercitiv cuprins între 136 A/m şi 552 A/m şi stabilitate termică foarte bună;

— s-au încercat mai multe metode preparative : sincristalizarea, tehnologia ceramică standard şi hibridă, cele mai bune rezultate obţinîndu-se prin sincristalizare;

— din materialele elaborate, reţin atenţia cele cu $H_c = 160$ şi 480 A/m, utilizabile în producerea miezurilor de 1,3 şi respectiv 0,5 mm.

Bibliografie

[1] *Kuroda, C.* şi *Kawashima T.* Temperature-Stable Low-Noise Ferrite Memory Cores. În : IEEE Trans. on Magnetics *MAG5*, nr. 3, 1969, p. 192—196.

[2] *Solymarne, Dr.* şi *Gabor, M.* Tori de ferită cu CHD ce funcţionează într-un domeniu larg de temperatură. Vaşipari Kutato-int. evk., Budapest, 1969.

[3] *Dugar-Zhabon, K. D.* Despre influenţa porozităţii asupra vitezei de inversare a magnetizării feritei policristaline Li—Ni—Zn. În : Poroşkovaia Metalurghia, **99**, nr. 3 martie, 1971 p. 60.

[4] Firma Cofelec (Franţa). Composition de ferrites de lithium pour elements de memoire magnétique et procedé de fabrication de ces elements. Brevet Franţa, nr. 1. 530.609-B 22f/Gllc 11/00 — 1967/68.

[5] *Gololov, N. G.* Sinterizarea feritelor de litiu cu fondanţi. În : Poroşkovaia Metalurghia **97**, nr. 10, octombrie 1970.

[6] *Esveldt, C. I.* Method for making lithium-nichel ferrite having a substantially rectangular hysterezis loop. Brevet S. U. A., nr. 3.226.328/28 dec, 1965.

[7] Van *Driel G. A. H.* Method for making ferro-magnetic memory core. Brevet S. U. A., nr. 3.293.184/20 dec 1966.

[8] Firma Philips (Olanda). Procedè de fabrication d'un noyau magnetique servant d'élément de mémoire et noyau magnétique fabriqué par ce procédé. Brevet Franţa nr. 1.358.754/1964.

[9] *Hoffman, A.* Crystal Chemistry of Lithium Ferrite. În : Naturwissenschaften, *26*, 1938, p. 431.

[10] *De Boer, F.*, van *Santen, J. H.* şi *Verwey, E. J. W.* Electrostatic contributions to the lattice energy of some ordered spinels. În : J. Chem. Phys. *18*, 1950, p. 1032.

[11] *Michel, B.* şi *François, B.* Étude radiocristallographique de la transition ordre-desordre dans le ferrite de lithium spinelique. În C. R. Ac. Sc. Paris **258** (1964) p. 5628

[12] *Braun, B.* Superstructure in spinels. În : Nature, *170* 1952, p. 1123.

[13] *Folen, V. J.* Influence of ionic order on the magneto-cristalline anisotropy and crystalline field parameters in lithium ferrite monocrystals. În : J. Appl. Phys. **31**, nr. 5, 1960, p. 166. S.

[14] *Landolt-Börnstein.* Magnetic and other properties of oxides and related compounds (*4*, part. b). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1970.

[15] *Von Aulock, W. H.* Handbook of Microwave Ferrite Materials. Academic Press, N. Y, 1965.

[16] *Tănăsoiu C., Nicolae I.* şi *Florescu V.* : Magnetometru vibraţional pentru determinarea parametrilor magnetici ai materialelor fero- şi ferimagnetice. Electrotehnica 20 (1972), Nr. 11, p. 423

[17] *Vărzaru E.* şi *Nicolau P.* : O nouă metodă de obţinere a oxizilor metalici micşti. În : Revista de Chimie *22*, nr. 12, dec 1971, p. 724

Intrat în redacţie la 4. II 1972

Funcţionarea intermitentă a condensatoarelor

IONEL RÂULESCU* — Bucureşti

CZ 621.319.41.083.72

Condensatoarele electrice supuse unei funcţionări intermitente cum ar fi un regim de porniri şi opriri frecvente, prezintă în general o durată de viaţă relativ mai scurtă decît alte componente. Aceasta se datoreşte solicitării puternice electrice şi uneori chiar mecanice datorită vîrfului mare de curent de încărcare sau descărcare bruscă. Apare evident că sarcina poate fi excesivă mai ales dacă se suprapune unei solicitări termice locale ambiante, crescute şi ca urmare se declanşează o îmbătrînire cu numărul de cicluri aplicate. De aceea durata de viaţă a unor condensatoare a început să fie exprimată recent nu numai în ore de funcţionare ci şi în număr de cicluri de încărcare — descărcare [1].

În procesele tranzitorii corespunzătoare intervin, pe lîngă curentul de deplasare, şi curenţii de polarizare, absorbţie în interiorul stratului, ca urmare a neuniformităţii materialului la condensatoarele cu hîrtie sau formării stratului, de baraj la cele electrolitice. Aceşti curenţi suplimentari mai dăinuie uneori ore, manifestîndu-se în mod deosebit la schimbarea polarităţii şi sînt cunoscute efectele de sarcină reziduală care se restituie greu [2]. Ca urmare este influenţată constanta de timp de autodescărcare sau cea a circuitului asociat iar factorul de pierderi creşte la frecvenţe foarte joase [3], [4].

Această funcţionare este caracteristică şi reprezentativă pentru unele aplicaţii şi practic avem de-a face cu o încărcare — descărcare de formă exponenţială în timp, de durate cel mai adesea inegale. Numărul de cicluri se repetă cu o cadenţă medie oarecare căreia îi corespunde un impuls de curent sau tensiune repetitiv.

La încercările de durată se limitează valoarea curentului de încărcare pentru unele tipuri de condensatoare la valoarea de 1 A respectiv printr-o rezistenţă de 1 ohm/volt dar descărcarea este mai violentă dîndu-se valoarea limită de 10 ohm pentru unele tipuri de condensatoare [1]. Astfel pentru condensatoarele cu hîrtie metalizată (componente radio electronice) dacă schema de principiu de încercare este cea din figura 1 a, se recomandă [5] :

— pentru rezistenţa de încărcare R_1
$R_1 > 250 \cdot 10^{-6}/C$ (ohmi);

— pentru rezistenţa de descărcare R_2
$10 \leqslant R_2 > 10 \cdot 10^{-6}/C$ (ohmi),

unde C este capacitatea nominală.

* Ing. *I. Râulescu* este şef de laborator la I.C.P.E.

Sub acţiunea impulsului de curent sînt solicitate punctele slabe, locuri de străpungere locale parţiale, puncte ce pot deveni „fierbinţi" şi de asemenea contactele terminalelor care pot

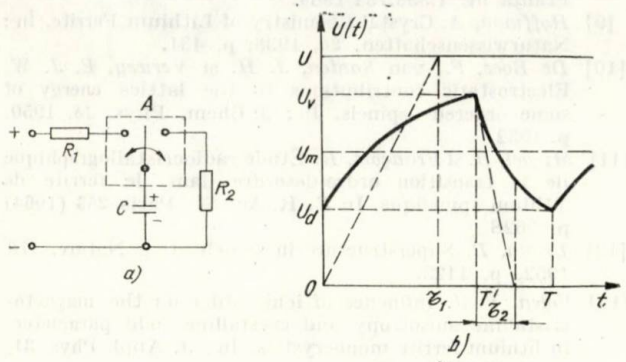


Fig. 1 a, b. Circuitul de încărcare — descărcare (a) cu un dispozitiv de comutare A şi tensiunea pulsatorie pe condensator (b).

să prezinte o rezistenţă variabilă, să dea naştere la arcuri locale care să conducă într-un număr limitat de cicluri la deteriorarea contactului cu folia (contact prost, oxidat, ardere şi întrerupere). Se mai adaugă faptul că impulsurile creează pierderi sporite datorită spectrului larg de frecvenţă ceea ce măreşte solicitarea intrinsecă.

Comportarea la această solicitare dinamică poate să arate mai repede defecţiuni caracteristice îndeosebi de execuţie, sistematice sau premature, decît încercările statice numai sub acţiunea componentei continue şi în spatele coeficienţilor normali de siguranţă.

Asupra frecvenţei de repetiţie optime de încercare sînt puţine indicaţii în literatura de specialitate cunoscîndu-se doar că intervine un fenomen de relaxare. De asemenea asupra solicitării electrice realizate se dau unele relaţii laborioase sau altele în ipoteza simplificatoare care nu sînt suficient de elocvente [4], [6].

În prezenta lucrare se dau : o exprimare mai apropiată solicitărilor reale şi rezultatele încercărilor efectuate pe această bază asupra unor condensatoare de fabricaţie curentă.

Solicitarea electrică

Cunoaşterea solicitării electrice şi termice aplicate o vom realiza pentru cazul general al inegalităţii rezistenţelor de încărcare şi descărcare, considerînd inegali şi timpii de comutare în perioada T (fig. 1 b).

Pentru realizarea tactului de repetiţie al impulsurilor se pot utiliza programatoare mecanice, electrice sau electronice.

Regimul tranzitoriu de tensiune este dat de relaţia [7] :

$$u(t) = u\,(t_0)\exp/-(t - t_0)/\tau + \\ + U\,\{1 - \exp\,[-(t - t_0)/\tau]\} \qquad (1)$$

unde U este tensiunea sursei c. c. ;

τ — constanta de timp a circuitului, după caz ;

t_0 — valoarea momentului iniţial de timp.

Avem :

$$\tau_1 = R_1 C; \quad \tau_2 = R_2 C.$$

Timpul de încercare constituie o parte din perioada

$$T' = \alpha T$$

cu $$0 < \alpha < 1$$

restul perioadei fiind de descărcare (considerînd neglijabili timpii de comutaţie).

Vom folosi notaţiile :

$$T/\,\tau_1 = 2\,\beta_1; \quad T/\tau_2 = 2\,\beta_2$$

pentru a folosi o metodă de inducţie pentru aflarea valorilor de vîrf şi minimă a regimului de tensiune pulsatorie, ajungînd la forma :

$$u_{2n-1} = U\,(1 - \mathrm{e}^{-2\alpha\beta_1})[1 + \mathrm{e}^{-2(1-\alpha)\,\beta_2 - 2\alpha\beta_1} + \\ + \mathrm{e}^{-4\,(1-\alpha)\,\beta_2 - 4\alpha\beta_1} + \ldots\ldots] \qquad (2)$$

respectiv la momentul de timp (nT)

$$u_{2n}\,(nT) = u_{2n-1}\,\mathrm{e}^{-2\,(1-\alpha,\beta_2}\,. \qquad (3)$$

Se poate trece deci la forma generalizată pentru valoarea de vîrf :

$$U_v = U(1 - \mathrm{e}^{2\alpha\beta_1}) \sum_{i=0}^{n-1} \mathrm{e}^{-2i\,[\alpha\beta_1 + (1-\alpha)\,\beta_2]} \qquad (4)$$

Cunoscînd că termenul exponenţial de sub semnul sumă este subunitar, rezultă tensiunea de încărcare de vîrf

$$U_v = U\,\frac{1 - \mathrm{e}^{-2\alpha\beta_1}}{1 - \mathrm{e}^{-2\,[\alpha\beta_1 + (1-\alpha)\,\beta_2]}} = aU \qquad (5)$$

în care a reprezintă valoarea fracţiei.

Punînd $b = \mathrm{e}^{-2(1-\alpha)\beta_2}$

obţinem valoarea minimă de descărcare

$$U_d = abU \qquad (6)$$

Funcţia de timp la încărcare este :

$$u_i\,(t) = U\,[1 - (1 - ab)\;e^{-t/\tau_1}] \qquad (7)$$

iar la descărcare este :

$$u_d\,(t) = aUe^{-(t-T')/\tau_2}, \qquad (8)$$

Tensiunea medie ajunge

$$U_m = U\left[\alpha - \frac{1-ab}{2\beta_1}(1-e^{-2\alpha\beta_1}) + \frac{a(1-b)}{2\beta_2}\right]. \quad (9)$$

Pentru interpretare mai uşoară se poate da altă formă:

$$U_m = U\left[\alpha - \frac{a}{2}\left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}\right)(1-b)\right]. \quad (10)$$

Această relaţie ne arată că dacă rezistenţele de încărcare şi descărcare sînt egale, respectiv $\beta_1 = \beta_2$, atunci avem:

$$U_m = \alpha U. \quad (11)$$

Dacă constantele de timp sînt inegale şi se cere ca tensiunea medie să aibe totuşi o valoare determinantă, de circa $U/2$, atunci rezultă din condiţia de simetrie

$$U - U_v = U_d \quad (12)$$

că trebuie satisfăcută relaţia:

$$\beta_2/\beta_1 = \alpha/(1-\alpha) = \tau_1/\tau_2 \quad (13)$$

şi corespunzător să se regleze timpii de tact aşa ca să fie satisfăcut raportul:

$$R_1/R_2 = T'/(T-T') \quad (14)$$

ceea ce era de aşteptat.

Aceste precizări sînt utile pentru unele forme de undă particulare de aplicat unor tipuri de condensatoare.

Valoarea eficace a tensiunii se deduce corespunzător

$$U_{ef}^2 = U^2\left[\alpha - \frac{1-ab}{\beta_1}(1-e^{-2\alpha\beta_1}) + \frac{(1-ab)^2}{4\beta_1}(1-e^{-4\alpha\beta_1}) + \frac{a^2}{4\beta_2}(1-b^2)\right] \quad (15)$$

$$\text{sau } U_{ef} = \zeta U \quad (16)$$

în care ζ reprezentînd radicalul expresiei din paranteză poate fi calculată relativ repede cu mijloacele actuale.

Pe de altă parte, se poate utiliza valoarea tensiunii vîrf — vîrf U_{vv}, măsurată azi cu destulă precizie cu ajutorul oscilografelor etalonate:

$$U_{vv} = U_v - U_d \quad (17)$$

$$U_{ef} = \frac{U_{vv}}{a(1-b)} \quad (18)$$

relaţie mai simplă şi uşor aplicabilă decît cele date în îndreptare pentru formele de undă exponenţiale, triunghiulare ş. a. laborioase ca în [6] sau aproximate ca în [4].

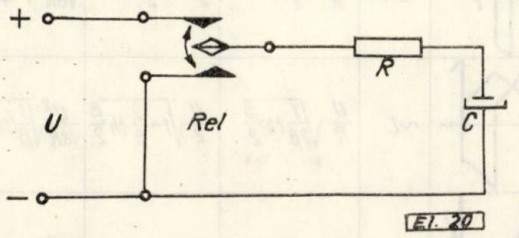


Fig. 2. Schemă de principiu pentru solicitarea în comutare: R — rezistenţa de încărcare; *Rel* — sistem contactor temporizat reglabil

Dacă rezistenţa este comună la încărcare şi descărcare într-o schemă ca în figura 2, atunci avem [8]:

$$\beta = T/2\tau;\ a = \frac{1}{1+e^{-\beta}};\quad b = e^{-\beta}.$$

Tensiunea eficace devine:

$$U_{ef}^2 = \frac{U^2}{2}\left(1 - \frac{1}{\beta}\operatorname{th}\frac{\beta}{2}\right). \quad (19)$$

Valoarea eficace a componentei suprapuse este mai mică, cea continuă nu contribuie la pierderile dielectrice:

$$U_c^2 = \frac{U^2}{4}\left(1 - \frac{2}{\beta}\operatorname{th}\frac{\beta}{2}\right). \quad (20)$$

Valoarea eficace a curentului fiind:

$$I_{ef}^2 = \frac{U^2}{2R^2}\cdot\frac{1}{\beta}\operatorname{th}\frac{\beta}{2} \quad (21)$$

se poate deduce valoarea puterii respective dezvoltate şi găsi valoarea ei maximă, anulînd derivata produsului $U_c^2\ I_{ef}^2$ în funcţie de β

$$W_{max} = U^2/8R \quad (22)$$

Variaţiile tensiunii, curentului eficace precum şi a puterii reactive la diverse frecvenţe de repetiţie a impulsului de încărcare-descărcare sînt arătate în figura 3 şi ilustrate în figura 4 în funcţie de β care este raportul semiperioadei către constanta de timp a circuitului.

Rezultă că valoarea optimă a lui $\beta \simeq 3{,}8$ conduce la o frecvenţă foarte joasă

$$f = 1/2\ \beta\ \tau. \quad (23)$$

Se vede că solicitarea aplicată nu mai depinde de valoarea capacităţii, iar puterea disipată — P_w

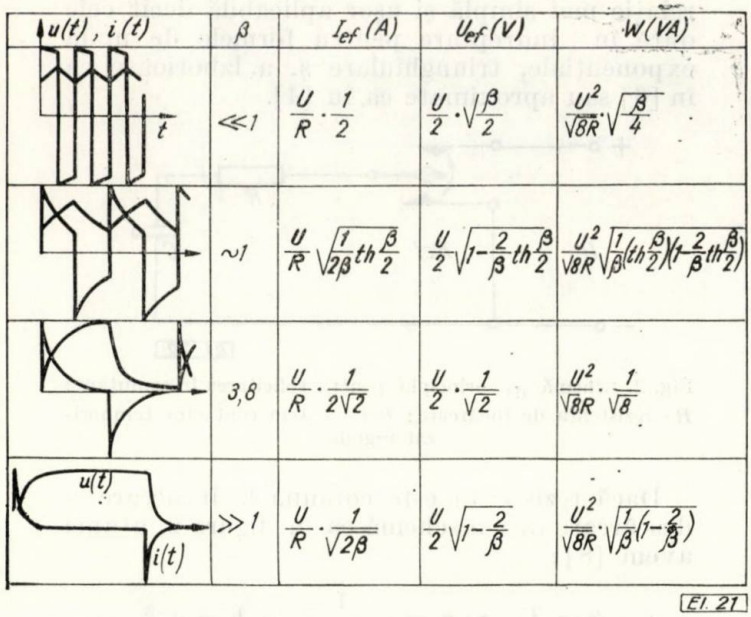


Fig. 3. Forme şi relaţii pentru u, i, W în funcţie de β.

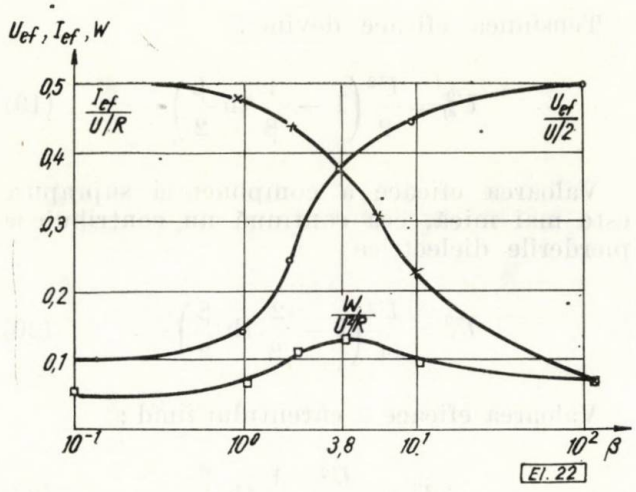


Fig. 4. Variaţia relativă a tensiunii, curentului şi puterii în funcţie de β.

individuală depinde doar de valoarea particulară a factorului de pierderi:

$$P_w = W \text{ tg } \delta \qquad (24)$$

în care tg δ reprezintă o valoare medie pentru domeniul de frecvenţă respectiv.

Rezultă o solicitare termică suprapusă celei ambiante şi care se poate aproxima în raport cu supratemperatura ΔT_N indicată de producător la aplicarea componentei alternative admisibile [1]

$$\Delta T = \Delta T_N \cdot P_w / P_0. \qquad (25)$$

Se poate deci afirma că în funcţie de puterea condensatorului o solicitare deplină se atinge la aplicarea curentului de vîrf dedus, prin urmare se defineşte o rezistenţă de încărcare şi corespunzător constantei de timp a circuitului o frecvenţă optimă într-un regim de comutare. Condensatorul este antrenat într-o încărcare aproape completă şi restituire cu pierderi a energiei acumulate, simulînd destul de bine funcţionarea intermitentă.

Pe lîngă încercarea de durată de conformitate cu prevederile NI, se arată o modalitate de a găsi o limită a anduranţei accelerînd încercările în trepte de tensiune sau de putere prin schimbarea lui R sau variind frecvenţa de repetiţie a ciclurilor pentru evidenţierea defectelor de îmbătrînire şi a unor mecanisme de degradare.

Rezultate experimentale

S-au folosit considerentele de mai sus la încercarea, printre altele, a condensatoarelor cu hîrtie metalizată, care sînt considerate astăzi în general componente sigure şi cu siguranţă la defectare. Aceste condensatoare prezintă mai greu defecte totale ca scurtcircuite sau întreruperi, dar manifestă defecte tehnice ca micşorarea capacităţii datorită autocicatrizărilor cu scăderea temporară a izolaţiei şi datorită vaporizărilor bruşte, pierderea ermetizării cu pătrunderea umezelii şi scăderea tensiunii de străpungere. Sînt în studiu recomandări internaţionale care prevăd limite de 5% pentru variaţia capacităţii la încercarea de durată de conformitate de 10000 cicluri de încărcare — descărcare [5], [9].

S-a ţinut seama de specificarea în cataloage sau recomandări de valoarea componentei alternative admisibile suprapuse pentru frecvenţele joase şi anume de (20—40) % la 50 Hz pînă la 1% la 10 Hz [1], [5].

Pentru aplicarea ambelor componente s-a experimentat în funcţie de aparatura existentă sau accesibilă, schema din figura 5 folosind

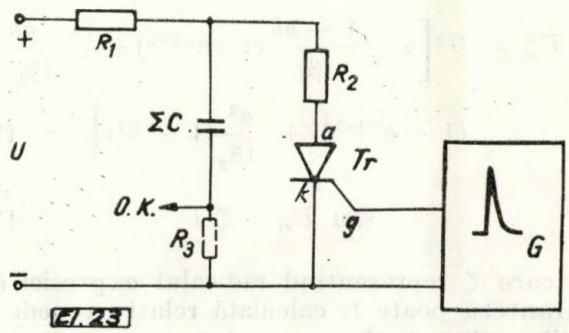
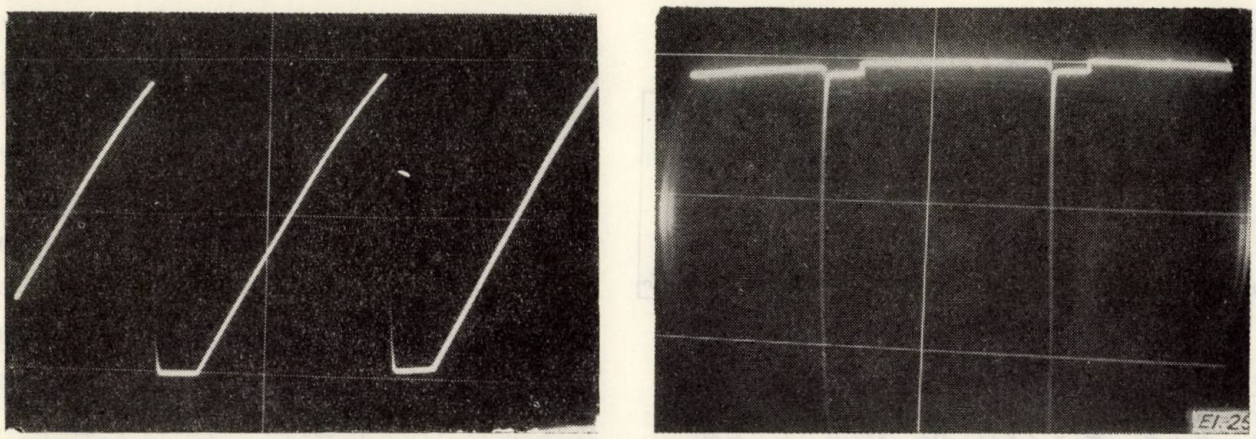


Fig. 5. Schema de încărcare — descărcare a condensatoarelor ΣC de încercat:

T_r — Tiristor T 10/100; R_1 — 3 Kohmi; R_2 — 10 ohmi; R_3 — 0,1 ohmi; G — generator de impulsuri; OK — osciloscop catodic tip Križik D 581.

un tiristor alimentat în c. c. şi comandat de un generator de impulsuri tranzistorizat cu frecvenţă reglabilă. Tiristorul se stinge la scăderea bruscă a tensiunii, respectiv a curentului



a b

Fig. 6 a, b. Oscilogramele : a) Tensiunii în dinţi de fierăstrău şi b) ale curentului de încărcare relativ constant şi de descărcare bruscă pe condensatoare cu hîrtie metalizată ; scările pe orizontală 1 ms/cm ; pe verticală 40 V/cm ; 10 A/cm.

de menţinerea stării de conducţie datorită constantei foarte mici de descărcare, rezultînd regimul de tensiuni şi curenţi cu oscilogramele din figura 6.

Raportul divizorului de tensiune depinde de tensiunea sursei şi apare întrucîtva limitată valoarea curentului de încărcare ceea ce influenţează însă puţin sarcina aplicată. Rezistenţa de descărcare a trebuit să fie neinductivă. Sistemul poate funcţiona pînă la frecvenţe de sute de Hz acoperind frecvenţa orientativă dată de relaţia [23].

A fost supusă încărcărilor cîte o grupă de 10 condensatoare cu hîrtie metalizată înglobate cu ceară, străine şi indigene, de 0,5 μF/350 V, în scopul verificării metodei propuse, a posibilităţilor de accelerare, alegerii parametrilor reprezentativi şi a criteriilor de defectare pentru aprecierea duratei de viaţă. S-a considerat puterea nominală a condensatoarelor a fi în jur de 100 mW pentru care supratemperatura este de circa 10 grd.

Tensiunea sursei fiind în jurul valorii de 1,5 U_N, redresînd direct 380 V, tensiunea medie s-a plasat în jurul celei nominale, iar puterea reactivă s-a ajustat cu ajutorul rezistenţei de încărcare, solicitările avînd valorile măsurate sau calculate din tabela 1.

Tabela 1

Încercarea	U, V	U_v, V	f_0, Hz	P_w, W 10^{-3}	t_i, h
I			50	60	168
II	540	200	100	120	168
III			200	240	168

Cunoscînd din notaţiile iniţiale că :

$$\beta_1 \simeq \frac{1}{2f\,R_1C} \qquad \beta_2 = \frac{R_2}{R_1}\,\beta_1$$

şi avînd din oscilograma tensiunii pe α şi U_v, urmează, pentru cazul $f=50$ Hz ; $R_1 = 3.10^{3}\Omega$ $R_2 = 10\ \Omega$:

$$a \simeq 1\,;\ b \approx 0$$

$$\zeta \simeq \sqrt{\alpha - \frac{0{,}75}{\beta_1}}.$$

Curentul eficace are două componente, pentru care aproximăm după formele de undă din tabela 1, figura 3

$I_{1ef} \simeq \frac{1}{4} I_i$, pentru curentul de încărcare, relativ constant conform oscilogramei ;

$I_{2ef} \simeq I_d \frac{}{\sqrt{2\beta_1}}$, pentru descărcarea bruscă exponenţială.

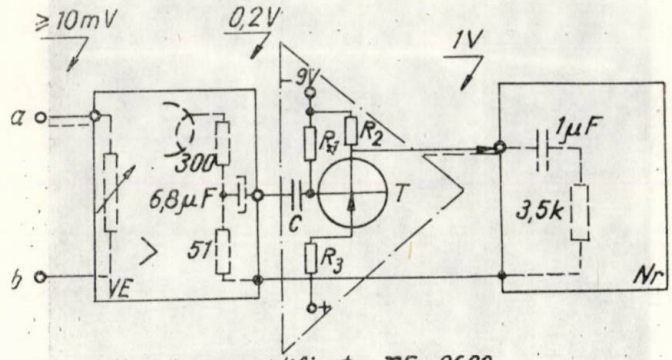
Rezultă : $I_{ef} = \sqrt{I_{1ef}^2 + I_{2ef}^2}$; $W = U_{ef}\,I_{ef} \simeq 9$ VA

Pentru domeniul 50 ÷ 1000 Hz s-a măsurat pentru factorul de pierderi valori medii de $(5 \div 12)10^{-3}$ şi apreciem o medie de :

$$\operatorname{tg}\delta = 7 \cdot 10^{-3}.$$

Condensatoarele au fost trecute succesiv prin 3 trepte de putere cu durate de o săptămînă neîntreruptă. În prealabil şi după fiecare treaptă s-a măsurat capacitatea, tensiunea U_a de amorsare a descărcărilor mari de autovindecare, numărul lor N timp de 1 oră şi nivelul zgomotului electric u_z după schema din figura 7 şi comparat cu voltmetrul de zgomote aleatoare BK-2417 [10].

Rezultatele după parcurgerea primei trepte sînt arătate în tabela 2 indicînd şi valoarea medie $\bar{x}$ şi abaterea medie pătratică σ pentru uşurinţa extrapolării derivei şi a evoluţiei dispersiei.



VE - Voltmetru amplificator TF-2600
Nr - Numărător RFT-3514a
R_1 - 36 kΩ ; R_2 - 2 kΩ ; R_3 - 390 Ω ; C - 2 μF
T - Tranzistor EFT 306

EI. 26

Fig. 7. Schemă cu voltmetru amplificator, etaj adaptor, numărător cu sensibilitate reglabilă.

Tabela 2

nr. cond.	C_0 μF	$\Delta C/C_0$ ‰	U_{a0}, V	U_a V	N_0	N_1	u^*_{z0} dB	μ_{zi} dB
1	0,5341	2,5	400	500	490	60	70	30
2	0,4686	2,6	450	520	400	45	80	25
3	0,4571	1,6	460	520	210	75	50	35
4	0,4714	2,7	460	530	310	35	40	15
5	0,4364	1,6	520	600	180	10	35	20
6	0,4794	1,6	430	500	540	30	40	25
7	0,4941	1,7	450	520	420	20	50	30
8	0,4753	1,5	380	450	500	40	80	15
9	0,5208	1,8	350	450	720	90	60	25
10	0,4836	1,2	430	500	470	25	45	25
$\bar{x}$	0,4830	1,9	430	510	425	43	55	25
σ	0,0096	0.6	25	20	54	10	—	—

* cu constanta de timp a instrumentului de 30 s la voltmetrul de zgomote aleatoare.

Nivelul de zgomot electric a fost măsurat la tensiunea de 1,5 U_N şi este dat cu referire la 1 μV.

Rezultatele obţinute la celelalte două trepte de încercare sînt trecute în tabela 3.

În cazul încercărilor efectuate s-a mărit numai frecvenţa de repetiţie pentru creşterea solicitării termice. Aceasta fiind proporţională cu puterea disipată conform relaţiei (25) şi pe de altă parte supratemperatura nominală ΔT_N fiind apropiată ca valoare de creşterea de temperatură de înjumătăţirea vieţii se pot lua în consideraţie timpii echivalenţi realizaţi la diverse temperaturi cu relaţia derivată din modelul Arrhenius [12]:

$$t_e = t_i \cdot 2^{P_{vo}/P_0}$$

Tabela 3

nr. cond.	ΔC_2, ‰	ΔC_3, ‰	U_{a2}, V	U_{a3}, V	N_2	N_3	u_{z2}, dB	u_{z3}, dB
1	18	31	600	750	15	6	20	10
2	9	33	650	650**	13	5	25***	—
3	10	21	600	700	15	3	25	10
4	16	49*	700	800	5	—	15	15
5	10	29	720	900	—	—	10	10
6	17	31	630	700	18	4	20	15
7	14	—	630	—	10	—	35	—
8	18	30	600	650**	16	10	15***	—
9	20*	29	580	650**	20	15	15***	—
10	18	51*	600	700	12	2	15	10
$\bar{x}$	15	34	630	710	13	6	16	7
σ	2	5	16	30	2	2	—	—

Notă

a) Poziţiile cu * au atins deriva de 2% considerată uneori ca limită de „defect" pentru încercări în condiţii de laborator [11].

b) Poziţiile cu ** au străpuns la tensiunea U_{a3} arzînd repetat rezistenţele de protecţie, dar continuă să lucreze la tensiune mai mică.

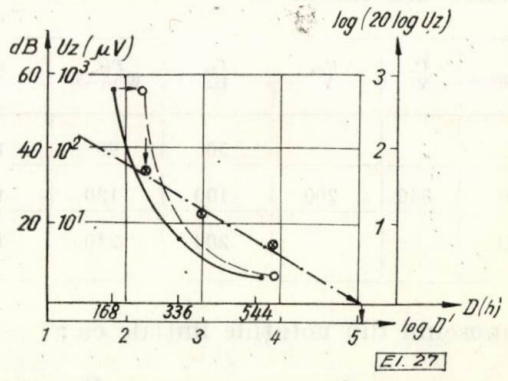
c) Poziţiile cu *** au fost măsurate ca nivel de zgomot la 1,5 U_N deşi la celelalte măsurarea s-a făcut la 2 U_N.

d) Condensatorul nr. 7 a prezentat defectul de întrerupere.

unde t_i este timpul efectiv de încercare pe treapta respectivă;

P_0 — puterea disipată, nominală, de pe prima treaptă.

Corelarea acestor timpi cu nivelul de zgomot poate conduce la o extrapolare a duratei de viaţă în sensul că, atunci cînd nu vor mai apare descărcări de autovindecare locale limitate, se va epuiza practic resursa condensatorului de a elimina punctele slabe şi va trece într-o stare de defect prin scurtcircuitare netă sau întreruperea cu terminalele. Pentru aceasta se poate încerca un procedeu de rectificare printr-o dublă logaritmare a ordonatei după cum se vede în figura 8.



EI. 27

Fig. 8. Extrapolarea duratei de viaţă a condensatoarelor cu hîrtie în funcţie de scăderea nivelului de zgomot datorit descărcărilor de autovindecare.

Durata de viaţă extrapolată astfel, cu caracter calitativ, este de circa 10^5 ore, valoare cu 1 — 2 ordine de mărime sub datele din literatură pentru acest tip de componentă a cărei folosire se extinde în domeniul electrotehnic.

Concluzii

Funcţionarea intermitentă solicită în mod deosebit condensatoarele datorită pierderilor mari din perioadele de pornire — oprire. Întrucît este actuală exprimarea duratei de viaţă în număr de cicluri de încărcare — descărcare apare reprezentativă la încercările de durată şi anduranţă solicitarea în impulsuri. În acest sens se prezintă sarcina electrică şi termică realizată de impulsurile de tensiune — curent de forme exponenţiale dînd relaţii mai simple şi legate de oscilogramele regimurilor. Se justifică frecvenţa optimă de repetiţie pentru obţinerea transferului maxim de energie reactivă manevrată de condensator şi se arată că încercările pot fi accelerate în putere prin modificarea frecvenţei, în cadrul parametrilor nominali de tensiune şi curent.

Metoda propusă de autor dă o exprimare tehnică şi precisă mărimilor electrice principale de solicitare electrică într-un regim de impulsuri repetitive, mai simplă decît cele laborioase date în îndreptare pentru diverse forme de undă, expuse de Tareev sau aproximate de Hagedorn [4], [6]; acestea au fost verificate şi confirmate prin experimentările întreprinse.

Din încercările efectuate, în regim de încărcare (de durate relativ scurte) — descărcare, s-au putut evidenţia defecte potenţiale şi premature de acelaşi gen cu cele apărute la încercările normale de lungă durată sau din exploatare.

Pentru condensatoarele cu hîrtie metalizată s-a desprins utilitatea măsurării zgomotului electric datorit scăderilor temporare a izolaţiei corespunzînd descărcărilor mari de autocicatrizare şi respectiv a evoluţiei numărului de impulsuri.

Acest criteriu poate conduce la o metodă de depistare în producţie a unor defecte şi la selecţii pentru loturi cu destinaţie profesională, metoda arătîndu-se nedistructivă.

Bibliografie

[1] * * * Siemens Bestandteile Katalog 1970
[2] *Renné, V. T.* Električeskie kondensatory. Moskva Izd. Gosenergo, 1969
[3] *Malahovsky, E. J.* Vlianie tokov absorbcii kondensatorov na električeskie cepi. În: Električestvo, nr. 5, 1970, p. 45—48
[4] *Hagedorn, H.* Berechnung der Verlustleistung von Kondensatoren, bei Belastung mit nichtsinusförmigen Wechselspannung. În: Frequenz **19**, nr. 11, 1965, p. 370—373.
[5] × × × CE —40(BC)259, Condensateurs fixes a diélectrique en film de polytéréphtalate d'ethyléne metallisé. Projet. febr. 1971.
[6] *Tareev, B. M., Lerner, M. M.* şi *Lerner, T. I.*, K rascčety teplovyh poteri v električeskom kondensatore pri vozdeistvij nesinusoidalnogo napriaženia. În: Elektricestvo, nr. 5, 1970, p. 72 — 78
[7] *Săvescu, M.* Circuite liniare Bucureşti Ed. Didactică 1968.
[8] *Râulescu, I.* Încercări în impulsuri asupra condensatoarelor electrolitice. În: Poştă şi telecomunicaţii, **15**, nr. 12, 1971, p. 662—668.
[9] × × × CE-40(Germany)159 Intermediate document for fixed metallized polyethylene terephtalate film dielectric d. c. capacitors, march 1970.
[10] × × × CE-40(Secr)192 Intermediate document for fixed metallized polyethyleneterephtalate film dielectric capacitors for direct current, sept. 1968.
[11] *Volpin, G. A.* Rasčet nadežnosti radioperedatčika. Moskva, Izd. Sviaz', 1967
[12] *Râulescu, I.* Creşterea siguranţei în funcţionare a produselor electrotehnice. Problema I C P E A 15/1968.

Intrat în redacţie la 31. VII. 1972

Tendinţe actuale în construcţia şi utilizarea cablurilor de energie şi telecomunicaţii utilizate în reţele electrice de forţă şi de telecomunicaţii

CONSTANTIN CRUCERU* — Bucureşti

CZ 621.315.2.002/004

Modernizarea şi construcţia unor noi linii electrice în cablu de forţă şi telecomunicaţii au deschis perspective largi pentru cercetarea şi asimilarea în diferite ţări a unor tipuri de cabluri electrice, care să răspundă cerinţelor mereu crescînde de îmbunătăţire a parametrilor constructivi şi funcţionali ai acestora.

Un rol deosebit în modernizarea şi construcţia de noi linii electrice în cablu de energie l-au avut materialele plastice, tipurile îmbunătăţite de materiale electroizolante (hîrtie, ulei, răşini sintetice) pentru cabluri şi accesorii, extinderea tensiunilor în transmisia electroenergetică la 750 kV, 1000 kV şi 1500 kV.

* Ing. *C. Cruceru* este şef de laborator la Institutul de cercetare şi proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) — Bucureşti.

În paralel cu diversificarea tipurilor de cabluri destinate scopurilor electroenergetice, are loc un proces analog şi în domeniul cablurilor de telecomunicaţii, impus de condiţiile specifice acestui domeniu: semnale transmise la frecvenţe din ce în ce mai înalte în telefonia interurbană, radio şi televiziune, combinarea circuitelor pentru frecvenţe vocale cu cele care transmit semnale de frecvenţe înalte şi foarte înalte, în vederea economisirii materialelor deficitare şi măririi eficienţei tehnice a cablurilor. Toate aceste tendinţe se reflectă de asemenea în utilizarea unor tipuri noi de materiale electroizolante şi de protecţie cu caracteristici fizico-electrice la nivelul impus de condiţiile de exploatare a cablurilor, care înlocuiesc materiale clasice (hîrtie, ulei ş. a.).

În legătură cu cele arătate vom examina în continuare tendinţele actuale în construcţia şi utilizarea cablurilor de energie şi de telecomunicaţii.

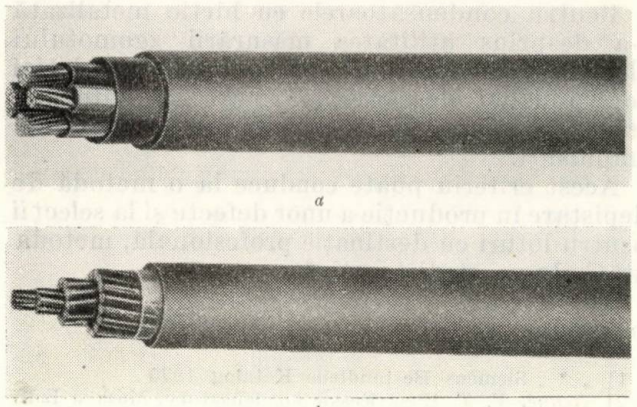


Fig. 1. Cabluri de energie cu izolație și manta din policlorură de vinil utilizate în rețele electrice pînă la tensiunea de 1000 kV : *a* — cabluri cu fir neutru ; *b* — cablu pentru circuite de comandă cu fire dispuse în straturi concentrice.

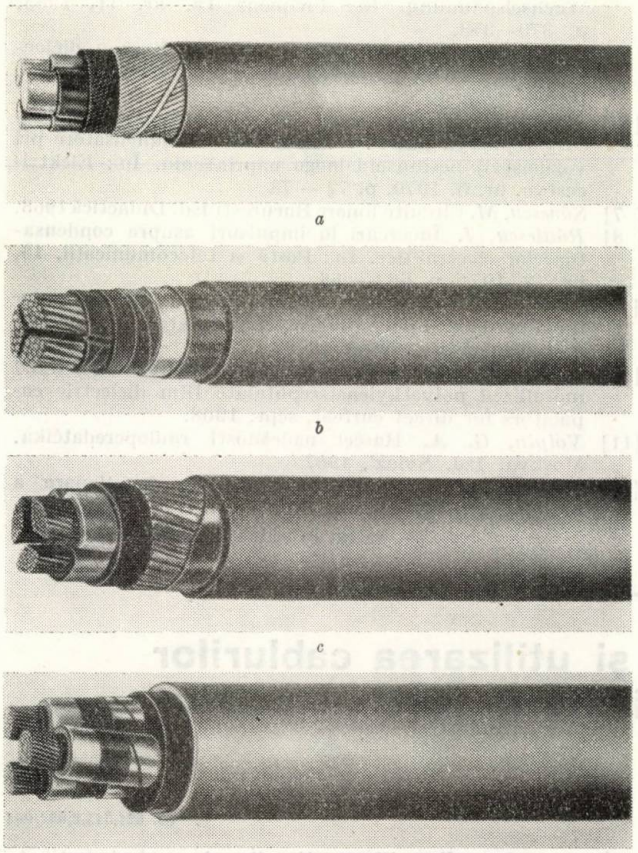


Fig. 2. Cabluri de energie cu izolație și manta de protecție din materiale plastice pentru rețele de 6—10kV: *a* — cablu cu faze sectorizate din aluminiu masiv, armate cu fire de oțel zincat și cu o protecție exterioară din PVC ; *b* — cablu cu faze sectorizate flexibile dublu etanșat cu o cămașă de polietilenă și cu o protecție exterioară din PVC ; *c* — cablu cu faze sectorizate flexibile izolate cu PVC, armate cu fire de oțel aplatizate, protejate în cămașă anticorozivă de PVC sau policloropren ; *d* — cablu cu fazele rotunde izolate cu polietilenă normală și protejate în exterior cu o cămașă de PVC anticorozivă.

1. Tendințe actuale în domeniul cablurilor și accesoriilor de cabluri de energie.

În construcția și utilizarea cablurilor de energie se manifestă următoarele tendințe principale :

a. Eliminarea utilizării ca dielectric a hîrtiei impregnate cu ulei și înlocuirea ei cu mase plastice aproape la cele mai multe tipuri de cabluri destinate rețelelor electrice care funcționează pînă la tensiunea de 110 kV [1] — [10].

b. Utilizarea maselor plastice la cablurile care funcționează pînă la 110 kV, iar în cazuri speciale chiar la 220 kV se face în mod diferențiat în sensul că materialele plastice se aplică pe cabluri fie prin procedee de extrudere (cu dielectric solid), fie prin bandajare (dielectric foliat) ; de regulă construcția cablurilor cu dielectric solid este în toate cazurile, generalizată pînă la tensiunea de 35 kV inclusiv, dar peste 35 kV cablurile se izolează prin matisare cu folii plastice (polietilenă, politetrafluoretilenă ș. a.) [10] — [21].

c. Sectorizarea fazelor cablurilor în vederea compactizării lor și a economiei de materiale de protecție (benzi și sîrme de oțel, învelișuri exterioare) [13] — [15].

d. Extinderea tensiunilor de funcționare a unor tipuri de cabluri de energie pînă la 750 kV ; în unele țări au fost puse în funcțiune asemenea cabluri izolate cu hîrtie și circulație de ulei sub presiune (Franța, U.R.S.S, S.U.A.) [6], [7]. [8], [9], [35], [36], [37].

e. Execuția cablurilor care funcționează pînă la tensiunea de 10 kV, cu faza din aluminiu sau cupru masiv sectorizate ; astfel de faze se obțin prin trefilarea directă a cuprului sau aluminiului prin procedee de laminare la cald a lingourilor, pe instalații continue [21] — [29].

f. Protecția exterioară a cablurilor împotriva agenților corozivi din sol se asigură la toate sau aproape la toate tipurile de cabluri prin învelișuri exterioare din mase plastice sau elastomeri sintetici (PVC, polietilenă, policloropren). Protecția exterioară din mase plastice asigură și o protecție superioară a cablurilor împotriva coroziunii provocate de curenții vagabonzi, făcînd inutile orice alte măsuri folosite la cablurile de tip clasic.

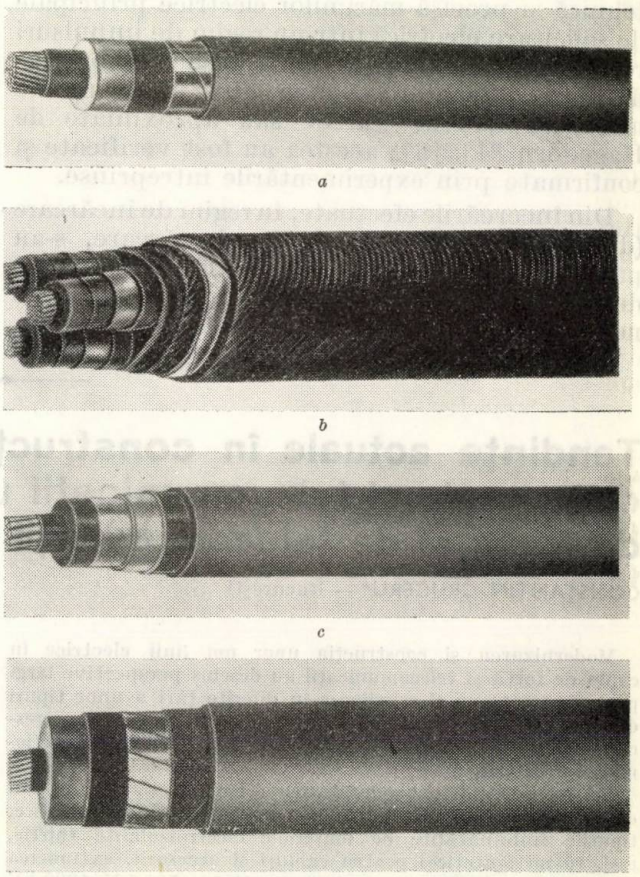


Fig. 3. Cabluri de energie de 20 — 35 kV, izolate cu polietilenă reticulată, protejate cu o cămașă de PVC : *a* — cablu monofazat ; *b* — cablu trifazat, cu înveliș exterior din iută ; *c* — cablu monofazat ; *d* — cablu monofazat, armat cu fire plate din oțel zincat și cu o protecție finală din PVC.

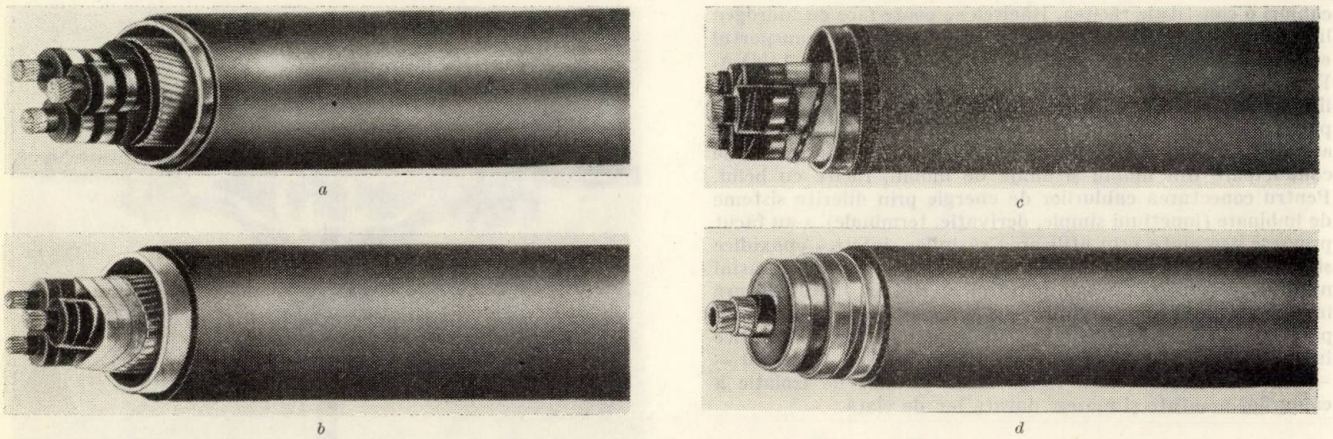


Fig. 4. Cabluri de energie de 60—220 kV, izolate cu polietilenă reticulată și protejate cu o manta de PVC :
a — cablu trifazic de 60 kV, cu circulație de gaze (azot) sub presiune ; *b* — cablu trifazic de 110 kV, cu circulație de ulei sub presiune (14 atm) ; *c* — cablu trifazic de 100 kV, cu circulație de ulei sub presiune de 21 atm ; *d* — cablu monofazic cu izolație de polietilenă, cu circulație de ulei sub presiune de 220 kV.

g. Plumbul este eliminat în proporție de 80 — 85% la toate cablurile de energie cu izolație de hîrtie care funcționează la tensiunea de 1 kV, prin învelișuri de aluminiu ; se prevăd tendințe de extindere a acestui procedeu și la cabluri izolante cu hîrtie. Conductibilitatea foarte mare a ecranului format de cămașa de aluminiu contribuie la limitarea supratensiunilor datorate trecerii curentului de defect prin ea, asigurînd o mai bună protecție a muncitorilor în caz de avarii. La cablurile de joasă tensiune, învelișul exterior de aluminiu este folosit drept conductor de nul, economisindu-se astfel un conductor și simplificîndu-se construcția cablului ; secțiunea cămășii de aluminiu fiind mult mai mare decît a conductorilor de nul înlocuiți, căderea de tensiune este foarte redusă.

h. Se prevede punerea în funcțiune a unor cabluri cu partea metalică supraconductoare (cabluri criogenice) pentru rețele și sisteme electrice de peste 220 kV, la care pierderile Joule să fie sub 0,5 % din puterea transportată pe linii.

i. La cabluri de foarte înaltă tensiune ($U \geqslant 380$ kV) care transportă puteri de peste 80 MVA, se prevăd instalații de răcire pentru asigurarea unui randament superior de funcționare al acestora [35] — [39].

j. Accesoriile de îmbinare a cablurilor se execută în cea mai mare măsură din rășini sintetice și din benzi adezive.

În legătură cu tendințele menționate vom prezenta tipuri de cabluri de energie reprezentative care au fost asimilate pe plan mondial, cu observații asupra unor tipuri care au fost realizate și în R. S. România.

Pentru rețele electrice de joasă și medie tensiune de 1 — — 35 kV se produc cabluri de energie cu izolație și manta de PVC, hîrtia fiind aproape complet eliminată pînă la tensiunea de 10 kV. Cablurile se execută fie din aluminiu, fie din cupru masiv (în sector) sau cablat rotund și sectorizat (fig. 1 și 2). Protecția exterioară a acestor cabluri se realizează fie dintr-un înveliș de PVC sau polietilenă, fie printr-un înveliș de policloropren. Prin asemenea protecții se asigură funcționarea cablurilor în medii foarte agresive acide și bazice (acid sulfuric, clorhidric, hidrați diferiți și derivații lor), care permit mărirea duratei de viață a cablurilor (peste 10 ani în regim permanent).

Pentru rețele electrice de medie tensiune, de 20 și 35 kV, au fost asimilate numeroase construcții de cabluri izolate cu polietilenă reticulată aplicată prin procedee de extruzie continuă. Armarea acestor cabluri este executată din fire plate de oțel zincat (fig. 3 b), care sînt protejate anticoroziv cu o cămașă din PVC. Prin această soluție constructivă se asigură funcționarea cablurilor nu numai în medii corozive, dar și în medii cu pericol de explozie, în exploatări miniere, petroliere, fabrici de produse chimice, explozive ș. a.

Pentru rețele electrice de 60 ÷ 220 kV se utilizează actualmente cabluri de energie la care, după izolarea fazelor cablului cu polietilenă reticulată aplicată prin bandajare, se introduce întregul cablu în baie de ulei sub presiune, care circulă prin tuburi de oțel etanșe. Presiunea uleiului în tuburile etanșe, este de circa 20 atm. În cazuri speciale se poate înlocui uleiul cu gaze sub presiune (fig. 4). Prin astfel de soluții constructive pericolul apariției descărcărilor parțiale în cablu este redus la minim.

Însemnate progrese tehnice au fost obținute la cablurile destinate rețelelor de foarte înaltă tensiune. Cablurile realizate recent de firmele „Câbles de Lyon" (Franța) și „Fehlten und Guillaumme" (RFG) au demonstrat posibilitățile mari existente în acest domeniu. Pentru a ilustra asemenea progrese indicăm în figurile 5 și 6 construcția a două cabluri de energie de foarte înaltă tensiune, un cablu pentru rețele de 380 kV cu circulație de ulei și un cablu pentru rețele de 750 kV cu răcire forțată. Problema importantă de care depinde funcționarea acestor

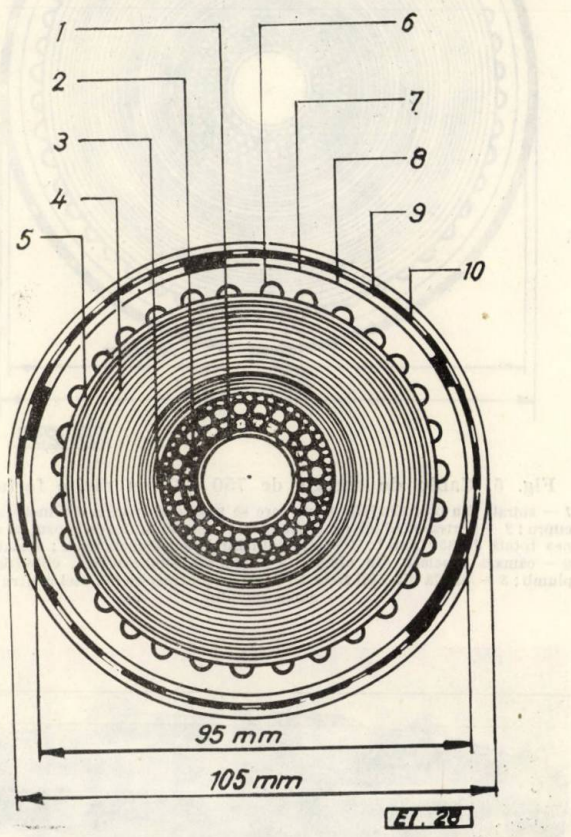


Fig. 5. Cablu de energie de 380 kV, cu circulație de ulei :
1 — spirală din oțel flexibilă peste care se montează partea conductoare din cupru ; *2* — partea conductoare a cablului, formată din fire de cupru, avînd secțiunea totală de 550 mm² ; *3* — strat de hîrtie semiconductoare ; *4* — înveliș izolant din hîrtie ; *5* — ecran din hîrtie metalizată ; *6* — cămașă canelată din plumb ; *7, 8* — dublă spiră de fretaj ; *9* — spirală de consolidare ; 10 — cămașă protectoare din PVC.

cabluri o constituie răcirea. Răcirea se poate face cu hidrogen lichid la temperatura de 20°K, care permite transportul economic al puterilor electrice la valori de peste 1 KVA. Pentru condiţii mai exigente răcirea se poate asigura şi cu heliu lichid [35] — [37] Pentru transportul puterilor electrice de peste 3 GVA la tensiuni de peste 1500 kV sînt în curs de asimilare cabluri de energie, criogenice realizate din materiale conductoare din niobiu şi aliaje de niobiu, răcite cu heliu. Pentru conectarea cablurilor de energie prin diferite sisteme de îmbinare (joncţiuni simple, derivaţie, terminale), s-au făcut progrese deosebite prin utilizarea răşinilor sintetice epoxidice şi a benzilor adezive. Masele de turnare clasice din răşini naturale (bituminoase sau parafinice) sînt în mare măsură înlocuite prin răşini epoxidice sau acrilice turnate direct prin procedee de injecţie sau în combinaţie cu benzi sintetice impregnate şi tratate termic la temperaturi de ordinul 200 — — 250 °C. Aceste soluţii ridică clasa termică de izolaţie a cablurilor montate şi măresc durata lor de viaţă.

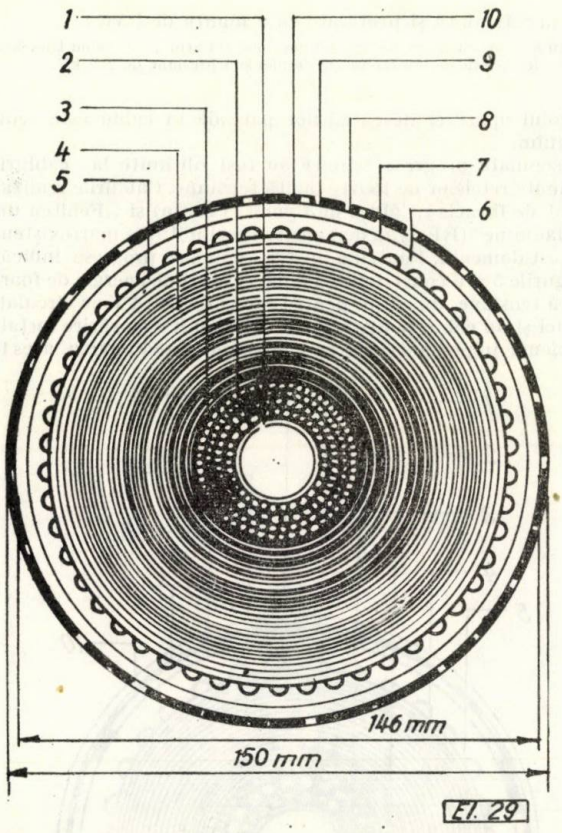


Fig. 6. Cablu de energie de 750 kV, cu răcire forţată :
1 — spirală din oţel flexibilă peste care se montează partea conductoare din cupru ; *2* — partea conductoare a cablului, formată din fire de cupru, cu secţiunea totală de 850 mm² ; *3* — strat din hîrtie semiconductoare ; metalizată ; *6* — cămaşă canelată din plumb ; *7* — cămaşă suplimentară, cilindrică din plumb ; *8* — bandă din oţel fretată ; *9* ; *10* — contraspire din oţel pentru rigidizarea cablului.

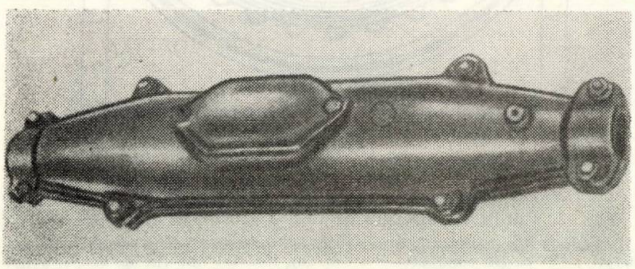


Fig. 7. Manşon de joncţiune a cablurilor trifazice de 20 kV, cu umplere de răşini epoxidice.

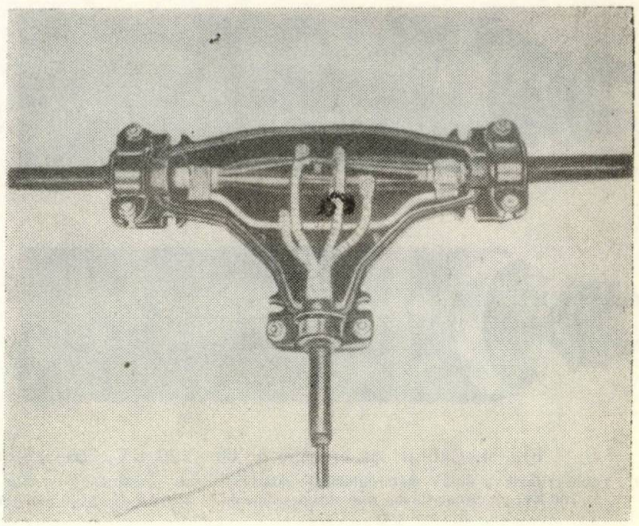


Fig. 8. Manşon derivaţie pentru 20—35 kV, cu umplere de răşini epoxidice.

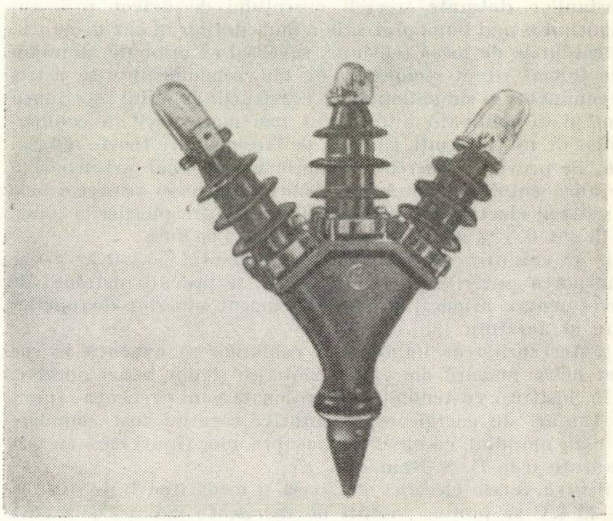


Fig. 9. Cap terminal de cablu de 10 kV, cu izolatori executaţi din răşini epoxidice.

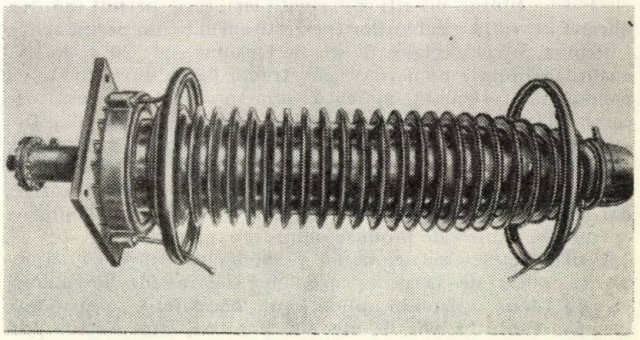
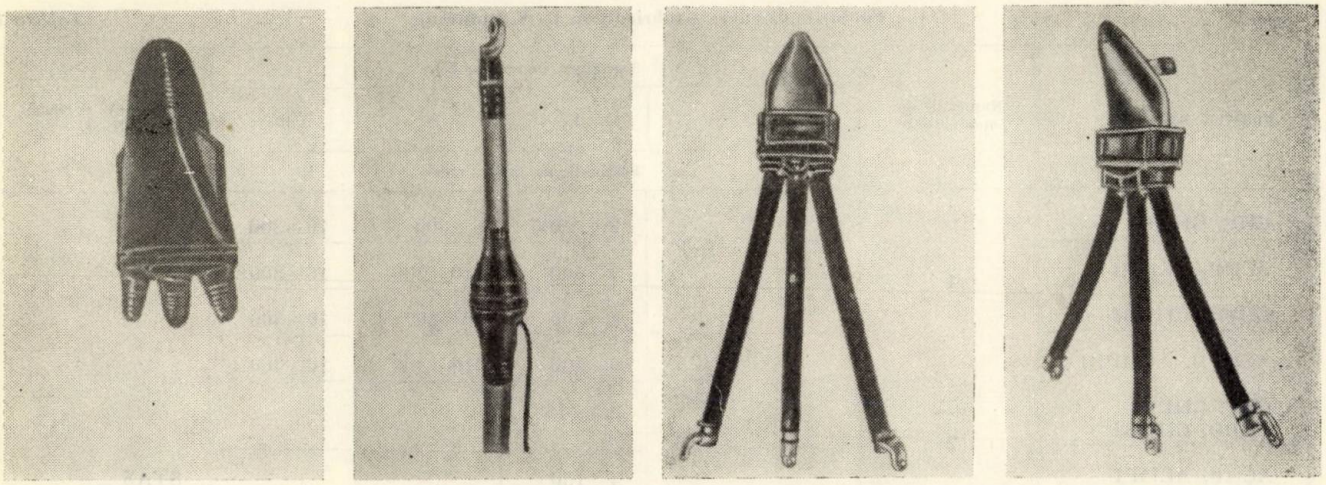


Fig. 10. Izolator din maşini epoxidice utilizat pentru racordul cablurilor de 220 kV.



a *b* *c* *d*

Fig. 11. Capete terminale de cablu executate din rășini de turnare (pînă la 1000 V):
a — cap terminal trifazic executat din rășină epoxidică; *b* — cap terminal monofazat executat din rășină acrilică; *c* — cap terminal trifazic executat prin bandajare; *d* — cap terminal executat din rășină epoxidică.

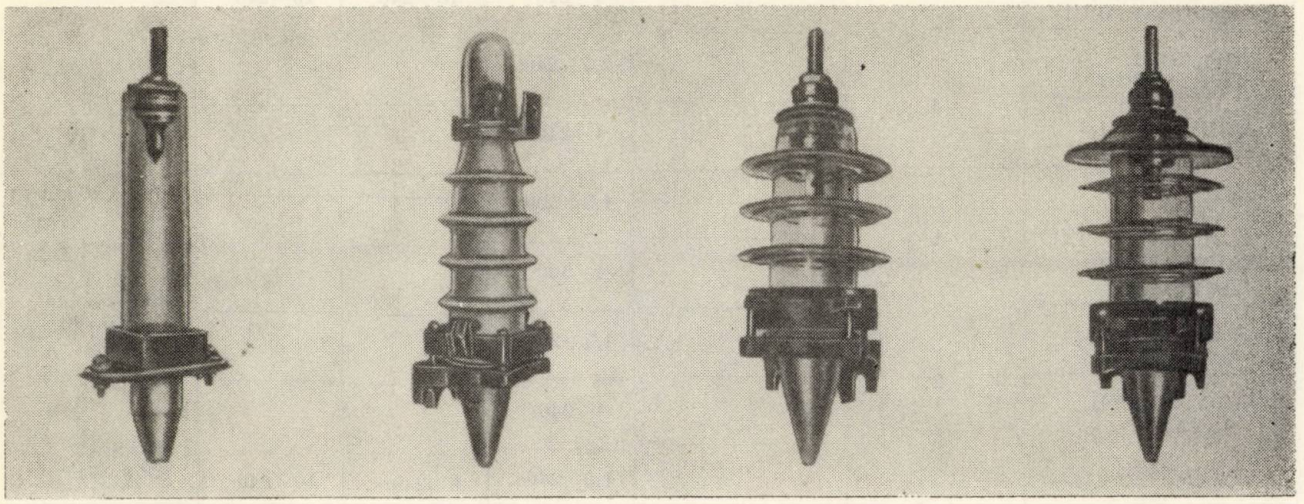


Fig. 12. Capete terminale pentru cabluri de 20 — 35 kV, turnate din rășini epoxidice.

Forma constructivă a unor tipuri de accesorii și îmbinări realizate și utilizate la îmbinarea cablurilor de energie este indicată în figurile 7, 8, 9, 10, 11 și 12.

După cum se vede la montarea cablurilor cu izolație din mase plastice se folosesc, actualmente, ca armături, fie armăturile de tip clasic din fontă umplute cu mase izolante obișnuite, fie armături turnate din rășini sintetice.

Pentru modernizarea sistemelor electroenergetice au fost asimilate și în România numeroase tipuri de cabluri:

— cabluri de energie pentru rețele electrice de 1—10 kV cu izolație și manta din PVC; nivelul tehnic al acestor cabluri este comparabil cu prescripțiile normelor internaționale CEI și CIGRE;

— cabluri de energie cu izolație de hîrtie protejate cu manta de plumb de 1—10 kV;

— sînt în curs de cercetare și asimilare cabluri de 20 și 35 kV cu izolație de polietilenă reticulată. Actualmente se produc în țară cablurile de energie indicate în tabela 1.

De asemenea au fost realizate în țară armături pentru cabluri de energie din rășini epoxidice și benzi adezive, care au fost montate în rețele electrice de 1—10 kV care au dat rezultate bune.

Au fost montate în România cabluri de 110 kV și 220 kV, cu izolație de hîrtie și circulație de ulei în București, la traversarea Dunării, la Centralele hidroelectrice de la Porțile de Fier și de la Argeș.

Cablurile de energie realizate în țară și echipate cu accesorii de joncțiune au fost încercate în condiții de laborator și de exploatare și au fost obținute rezultatele înscrise în tabela 2.

2. Tendințele actuale în domeniul cablurilor de telecomunicații [23 — 34]

Cablurile de telecomunicații se dezvoltă în următoarele direcții.

a. Mărirea numărului de circuite la cablurile telefonice urbane pentru transmiterea prin același cablu a peste 3000 convorbiri simultane la frecvența vocală; această măsură se poate realiza prin gruparea circuitelor în fascicule de cîte 200 de circuite și toronarea fasciculelor în cablu (fig. 13).

b. Folosirea maselor plastice atît la cabluri pentru telefonie urbană cît și la cabluri pentru telefonia interurbană, masele plastice utilizate fiind: policlorura de vinil aplicată pe firele telefonice prin extruzie, dar numai la cabluri telefonice urbane, în care caz izolația din PVC înlocuiește hîrtia folosită pînă în prezent în proporție de peste 70 — 80%; polietilena la cabluri telefonice interurbane coaxiale cu șaibe de polietilenă sau aplicată sub formă compactă prin extruzie.

Cablurile de energie fabricate în R. S. România *Tablea 1*

Simbolul cablurilor	Numărul de conductoare	Tensiunea nominală, kV				S. T. A. S. Sau N. I.
		0.5	1	6	10	
		Secțiunile nominale, mm²				
CHP, CHPI	1		2,5—500	6—300	10—300	STAS 4481—66
ACHP, ACHPI	1		4—500	10—300	16—300	
CHPB, CHPBI	1		4—500	6—300	10—300	
ACHPB, ACHPBI	1		6—500	10—300	16—300	
CHP, CHPI CHPB, CHPBI	2		2,5—150			
ACHP, ACHPI ACHPB, ACHPBI	2		4—150			
CHP, CHPI CHPB, CHPBI	3		2,5—240	6—240	10—240	
ACHP, ACHPI, ACHPB, ACHPBI	3		4—240	10—240	16—240	
CHP, CHPI, CHPB, CHPBI	4		2,5—240			
ACHP, ACHPI, ACHPB, ACHPBI	4		4—240			
CYY, CYYB, CYYBI	1		1,5—500			STAS— 8778—71
ACYY, ACYYB, ACYYBI	1		4—500			
CYY, CYYB, CYYBI	2		1,5—240			
ACYY, ACYYB, ACYYBI	2		4—240			
CYY, CYYB,	3		1,5—240	6—240	10—240	
ACYY, ACYYB, ACYYBI	3		4—240	10—240	16—240	
CYY, CYYB, CYYBI	4		1,5—240			
ACYY, ACYYB, ACYYBI	4		4—240			
CP	1	1—240	1,5—240	2,5—240	2,5—240	STAS 2405—61
ACP	1	4—240	4—240	4—240	4—240	,,
CP, CPI	2—3	1—185	1,5—70			,,
CPB, CPBI	2—3	1,5—185	4—70			,,
ACP, ACPI ACPB, ACPBI	2—3	4—185	4—70			,,
CP, CPI	4	1—185				,,
CPB, CPBI	4	1,5—185				,,
ACP, ACPI ACPB, ACPBI	4	4—185				,,

Semnificația simbolurilor din tabelă:

C — Cablu cu conductor de cupru; *AC* — Cablu cu conductor de aluminiu; *H* — izolație de hîrtie; Y — izolație din PVC; *P* — manta de plumb; *Y* — manta de PVC; *J* — învelis de protecție din iută; *B* — bandă de protecție din otel; *CY* — cablu cu conductori din cupru izolat cu PVC; *ACY* — cablu cu conductori din aluminiu izolat cu PVC; *CP* — cablu cu conductori din cupru, izolat cu cauciuc și protejat cu manta de plumb; *ACP* — cablu cu conductori din aluminiu, izolat cu cauciuc și protejat cu manta de plumb.

Tabela 2

Rezultatele încercărilor unor cabluri fabricate în țară și montate

Nr. crt.	Denumirea încercărilor efectuate	Tipul cablurilor experimentate și rezultatele obținute			
		Cablu ACYYB 3 × 120 mm² – 10 kV		Cablu CYYBI – 3 × 150 mm² – 10kV	
		Impus	Obținut	Impus	Obținut
1	Rigiditatea dielectrică, verificată prin menținerea fiecărei faze la 6 U_n (U_n-tensiunea nominală în curent continuu) timp de 15 minute; verificarea rigidității a fost efectuată în condiții de laborator și exploatare.	60 kV; 15 minute	75 kV; 15 minute	60 kV timp de 15 minute	74 kV timp de 15 minute
2	Stabilitatea la acțiunea simultană a cîmpului electric și la încălzire în care scop s-au menținut concomitent, cablurile echipate cu accesorii, în apă la tensiunea de 3 U_n (U_n–tensiunea nominală în curent alternativ) și la încălzirea provocată de curentul de 1,2 I_n (I_n– curentul de sarcină al cablului;) (încercarea s-a făcut în condiții de laborator).	10×24 ore	rezistă timp de 10×24 ore	10×24 ore	rezistă timp de 10×24 ore
3	Rezistența de izolație (s-a măsurat atît în condiții de laborator dar și de exploatare)	minimum 50MΩ. km	520 Ω km	minimum 50mΩkm	450 MΩ km
4	Tangența unghiului de pierderi măsurată după condiționarea cablurilor conform punctului 2 din acest tabel. (încercarea s-a efectuat în condiții de laborator)	2.10^{-1}	$1,5.10^{-1}$	2.10^{-1}	$1,42.10^{-1}$

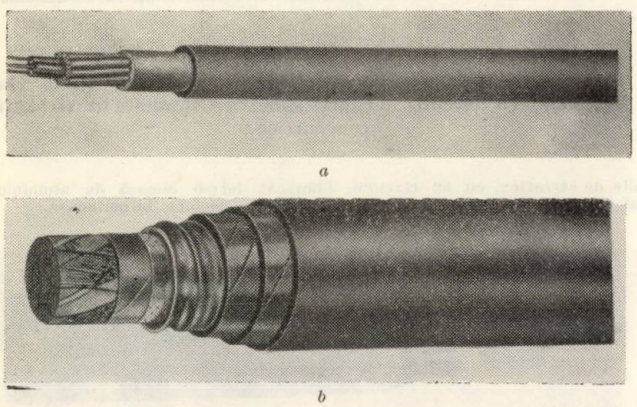


Fig. 13. — Cabluri telefonice urbane, cu izolație din PVC:
a — cablu telefonic pentru radiofrecvență (800 Hz) cu circuite dispuse în straturi concentrice, protejat cu o cămașă exterioară din PVC; *b* — cablu telefonic pentru audiofrecvență (800 Hz) cu 3500 circuite telefonice, grupate fascicular în fascicule de 100 circuite, protejate anticoroziv cu o cămașă de aluminiu ondulat și cu o manta exterioară din PVC.

c. Înlocuirea hîrtiei la cablurile telefonice interurbane magistrale cu circuite în cuartă cu cordel și bandă de hîrtie prin folie de styroflex, pînă la frecvențe de 252 kHz.

d. Cuprul este înlocuit prin aluminiu, la cablurile telefonice urbane, prin mărirea corespunzătoare a diametrului pentru ca efectele transmisiei semnalelor telefonice să nu fie atenuate; această măsură a condus la reducerea prețului cablurilor telefonice urbane cu cel puțin 20 %.

e. Cablurile de radiofrecvență se execută cu dielectric masiv sau elicoidale, avînd mantale de protecție din policlorură de vinil pentru: adaptare cu impedanță caracteristică mare; temporizare cu proprietatea de a încetini transmiterea energiei prin cablu; transformarea frecvenței printr-o impedanță caracteristică variabilă.

f. Pentru instalațiile de telecomandă și telemăsură cu izolație de mase plastice se execută în prezent tipuri noi de cabluri, unele ecranate împotriva perturbațiilor exterioare, altele neecranate (fig. 14).

Așa cum s-a menționat, au fost realizate cabluri telefonice urbane într-un număr sporit de circuite putînd fi montate

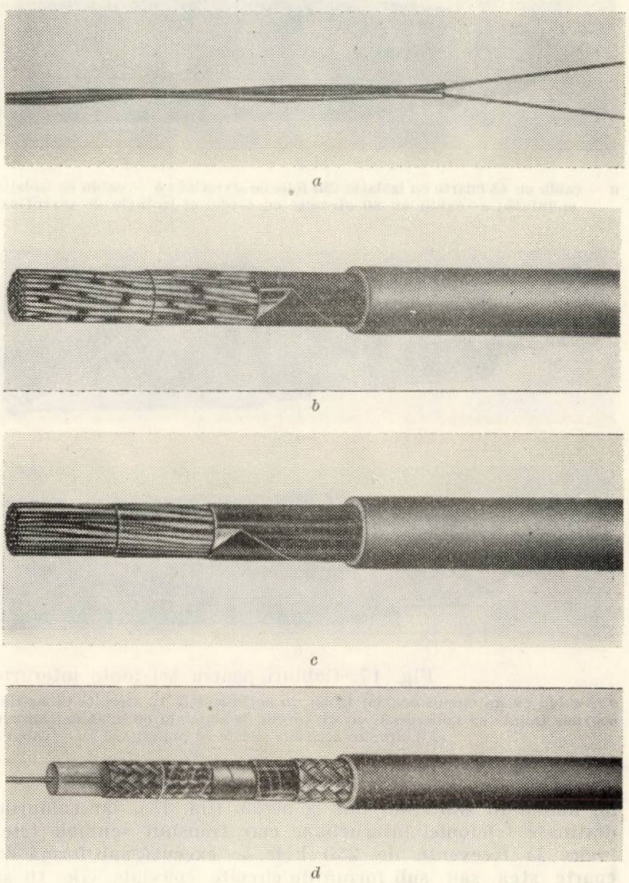


Fig. 14. Cabluri pentru instalații de telecomandă și telemăsură cu izolație din materiale plastice și protecție exterioară din PVC:
a — cablu cu un singur circuit; *b* — cablu cu 48 fire toronate în fascicule concentrice; *c* — cablu cu 48 circuite pentru instalații de comandă automată; *d* — cablu coaxial, dublu ecranat și protejat cu un înveliș exterior din PVC.

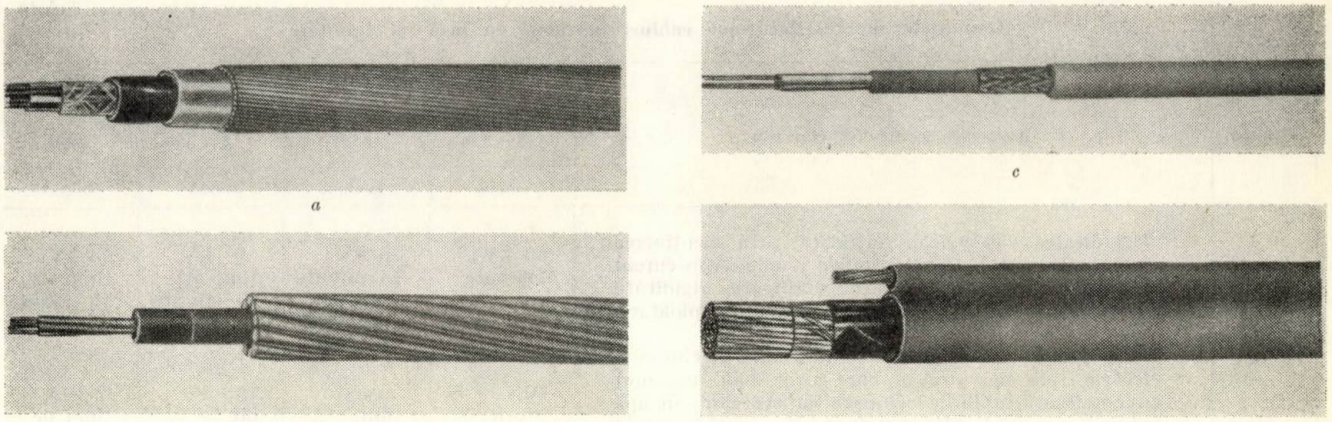


Fig. 15. Cabluri telefonice urbane destinate rețelelor de telecomunicații care transmit semnale de audiofrecvență (pînă la 2000 Hz): *a* — cablu cu 10 circuite, cu izolație de PVC; *b* — cablu cu izolație de polietilenă; *c* — cablu cu izolație de polietilenă, ecranat; *d* — cablu pentru pozări aeriene.

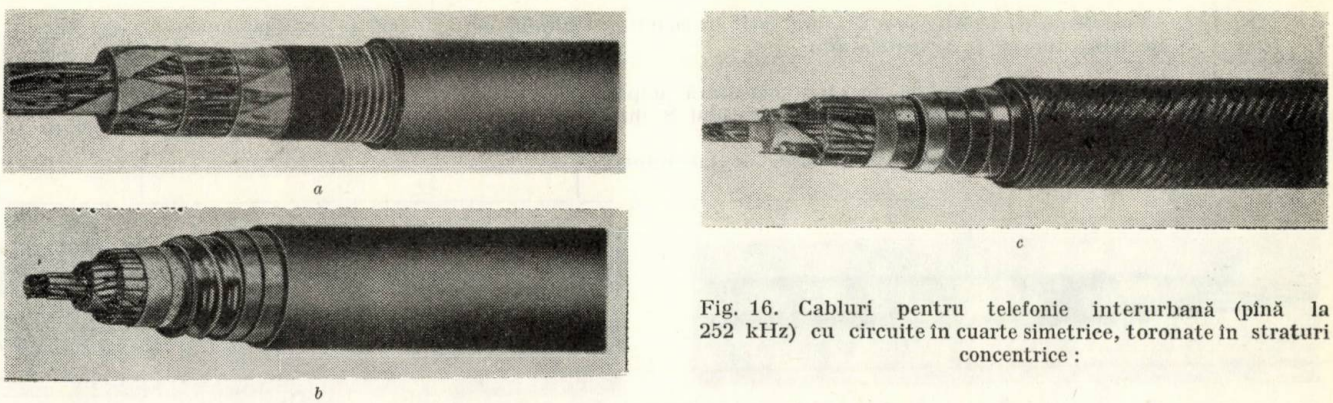


Fig. 16. Cabluri pentru telefonie interurbană (pînă la 252 kHz) cu circuite în cuarte simetrice, toronate în straturi concentrice:

a — cablu cu 48 cuarte cu izolație din folie de styroflex; *b* — cablu cu izolație din folie de styroflex, cu 52 circuite, îmbrăcat într-o cămașă de aluminiu ondulată; *c* — cablu cu 30 circuite cu cordel și izolație de styroflex, ecranat cu hîrtie metalizată, protejat cu un înveliș de iută bituminoasă.

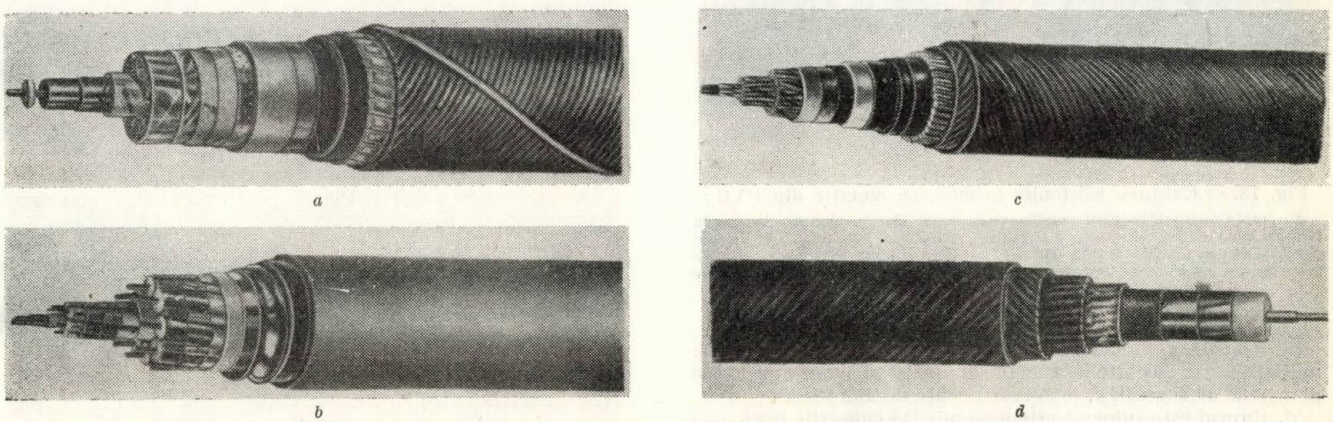


Fig. 17. Cabluri pentru telefonie interurbană cu circuite combinate în cuartă și coaxiale:

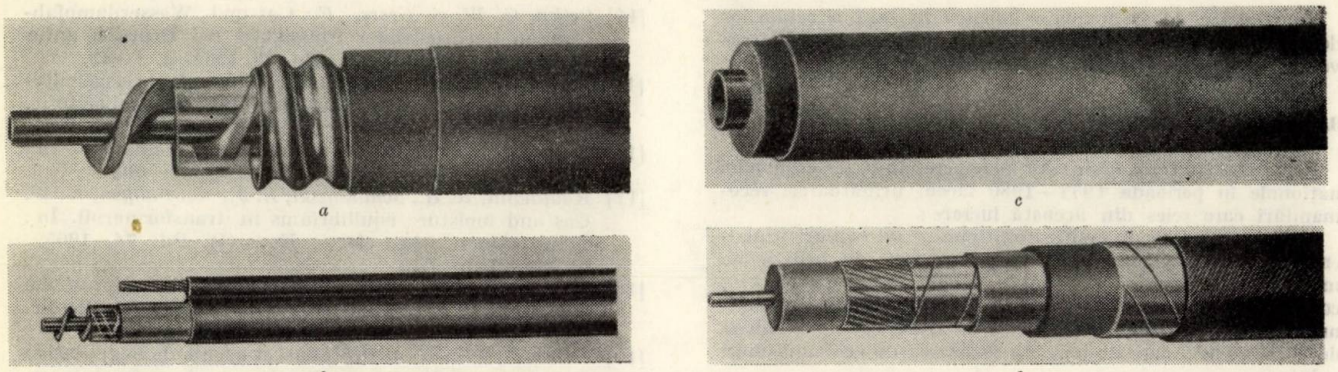
a — cablu cu un circuit coaxial izolat cu polietilenă și 12 circuite în cuartă izolate cu styroflex, armat cu fire plate de oțel zincat; *b* — cablu cu 20 circuite coaxiale izolate cu polietilenă, cu un înveliș de aluminiu ondulat anticoroziv și o cămașă exterioară din PVC; *c* — cablu cu 24 cuarte în stea, izolate cu styroflex și 3 circuite coaxiale izolate cu polietilenă; *d* — cablu coaxial izolat cu polietilenă, dublu armat cu fire din oțel zincat.

nu numai în subteran, dar și aerian (fig. 15), iar cablurile destinate telefoniei interurbane care transmit semnale telefonice la frecvențe de 250 kHz se execută sub formă de cuarte stea sau sub formă de circuite coaxiale (fig. 16 și fig. 17).

Cablurile de radiofrecvență coaxiale elicoidale cu izolație de polietilenă continuă (fig. 18) executate de firme ca „Standard Telephon and Cables" (Anglia) sau „Furukawa" (Japonia) au parametri superiori condițiilor impuse de normele internaționale. Acest lucru se asigură prin calitatea corespunzătoare a polietilenei de izolație folosite. Caracteristicile acestor cabluri sînt indicate în tabela 3, iar variația atenuării puterii este prezentată în figurile 19 și 20.

Pentru frecvențe foarte înalte, în instalații de televiziune, se utilizează tipurile de cabluri indicate în figura 21.

Și în domeniul cablurilor de telecomunicații industria electrotehnică din România a înregistrat succese prin realizarea: cablurilor de telecomunicații urbane cu 1200 — 1300 circuite; cablurilor pentru telecomunicații interurbane cu circuite în cuartă stea DM.



a *b* *c* *d*

Fig. 18. Cabluri pentru transmisiuni de televiziune ($f = 8$ MHz)

a – cablu cu un înveliş de aluminiu ondulat; *b* – cablu pentru montaje aeriene; *c* – cablu dublu ecranat şi armat; *d* – cablu cu înveliş exterior din PVC

Caracteristicile cablurilor coaxiale cu izolaţie continuă de polietilenă *Tabela 3*

Denumirea caracteristicilor	Valorile caracteristicilor Z_c			
	38	50	60	70
Raportul diametrelor D/d, mm	6,9/3,6	17,3/4,75	18,2/4,2	17,3/2,9
Diametrul conductorului interior, mm	3,6	4,75	4,2	2,9
Diametrul peste izolaţie, mm	9,6	17,3	18,2	17,3
Diametrul peste conductorul exterior, mm	12,6	22,0	23,2	22,0
Rezistenţa conductorului interior la 20°C, Ω/km	1/78	1,0	1,28	2,68
Rezistenţa conductorului exterior la 20°C, Ω/km	1,8	0,85	0,80	0,85
Capacitatea la 1 kHz, pF/m	130	100	88	72
Atenuarea la 400 MHz, dB/100 m	15	7	6	7
Tensiunea de străpungere, kV	12	20	20	16
Tensiunea maximă de serviciu, kV	6	10	10	8
Greutatea produsului finit, gf/m	320	750	790	660

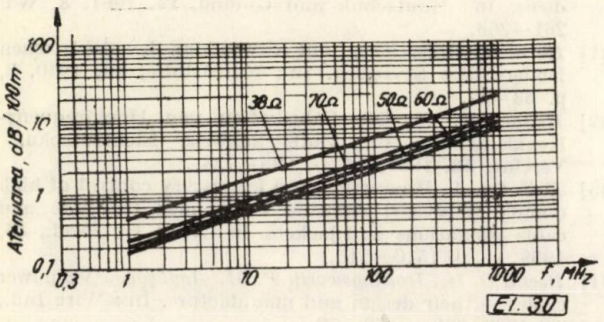


Fig. 19. Variaţia atenuării în funcţie de frecvenţă a cablurilor coaxiale cu $Z_c = 38$; 50; 60 şi 70 Ω

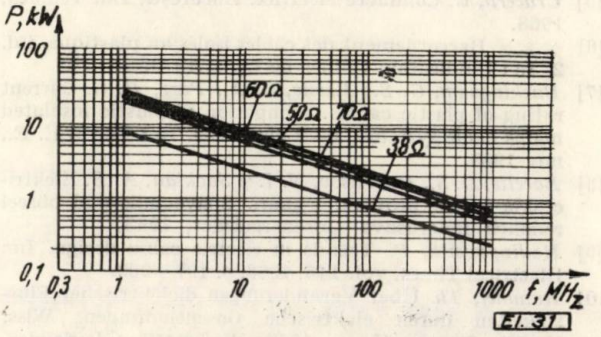
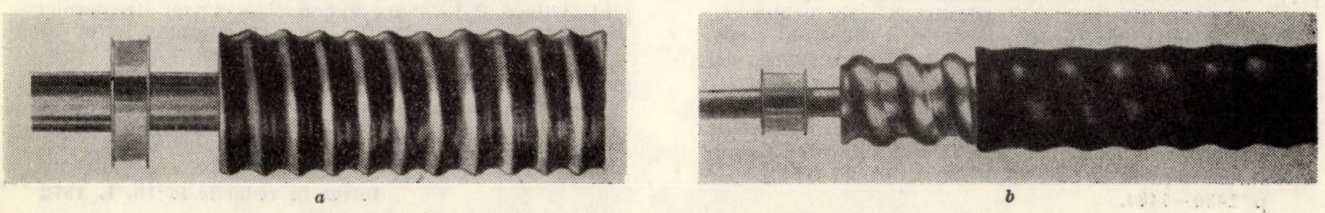


Fig. 20 — Variaţia puterii în funcţie de frecvenţă la cablurile coaxiale cu $Z_c = 38$, 50, 60 şi 70 Ω.



a *b*

Fig. 21 — Cabluri coaxiale cu şaibe de polietilenă ($f = 10$ MHz):

a – cu un înveliş exterior din aluminiu ondulat; *b* – cu un înveliş exterior din aluminiu şi protecţie suplimentară din PVC.

Se studiază de asemenea asimilarea în țară a cablurilor de telecomunicații cu circuite coaxiale (cabluri de radiofrecvență, televiziune, telefonia interurbană).

3. Concluzii și propuneri

Pentru satisfacerea cerințelor mereu crescînde ale economiei naționale în perioada 1971—1980 facem următoarele recomandări care reies din această lucrare :

1) Este necesară diversificarea tipurilor de cabluri pentru energie prin asimilarea cablurilor de energie cu izolație de mase plastice pentru tensiuni nominale de peste 10 kV; considerăm că în acest caz există condițiile tehnice preliminare pentru a fi realizate cabluri cu izolație de polietilenă de 20 și 35 kV, care ar permite realizarea de economii mari valutare.

2) Se impune modernizarea cablurilor cu izolație de hîrtie protejate cu plumb, din fabricația curentă a FCME, prin asimilarea unor tipuri de cabluri cu masă solidă, ceea ce ar asigura condiții mai bune de funcționare a rețelelor electrice de 1—10 kV, montate vertical sau cu declivități mari.

3) Industria chimică din țara noastră va putea asimila tipurile noi de mase plastice pentru cabluri de forță și telecomunicații (PVC pentru temperaturi de funcționare de 100—105°C, polietilenă, reticulată, polietilenă clorosulforată, cauciucul butil, policloropren, ș. a.).

4) Vor trebui asimilate tipuri noi de cabluri de telecomunicații, îndeosebi cabluri cu circuite coaxiale pentru telefonia interurbană, radiofrecvență și televiziune.

5) Este necesar să se realizeze în țară întregul necesar de rășini sintetice (epoxidice) și benzi adezive precum și asigurarea tuturor tipurilor de armături (manșoane, cutii terminale) folosite la montarea și exploatarea cablurilor, cu izolație de mase plastice.

Bibliografie

[1] De *Marsac, H.* Utilisation des nouvelles matières isolantes dans l'industrie de câbles électriques. În : Technique moderne, **54**, nr. 2, febr 1969, p. 41—47.

[2] *Hahne, K.* Kunststoffe in der Kabeltechnik. În : Drahtwelt **50**, nr. 3, martie 1967, p. 183—193.

[3] *Brinkmann. K.* Die Entwicklung der Isolierstoffe für Hoch—und Höchstspannungskabel. În : ETZ-A, **84**, nr. 4, febr. 1970, p. 119—126.

[4] *Paige, H.* Method of insulating cables in the ground and in buildings. In : Electrical revue, **173**, nr. 20, nov. 1968, p. 738—743.

[5] *Cruceru, C.* Conducte electrice. București, Ed. Tehnică, 1968.

[6] ××× Raccordement des câbles isolés au plastique. Ed. 2. In : Publication Câbles de Lyon, 1970.

[7] *Buckingham, G. S., Bowie, G. A., Parr, R. G.* Current rating of plastic cables. Symposion of plastic insulated mains cable systems, 1—2 nov. 1969. În : The I. E. E., nov 1969.

[8] *Bacelis, D. S., Belorusov, N. I.* și *Saakian, A. E.* Elektriceskie kabeli provoda i șnurî. Spavocinik pod obscei redakții Belorusova Gosenergoizdat, 1963.

[9] *Hollingsworth, P.* Trends in electric cable design. În : Electrical Times, vol. **145**, 1968, p. 197—200.

[10] *Rummel, Th.* Über Veränderungen dielektrischer Flüssigkeiten durch elektrische Gasentladungen. Wiss. Veröff. Siemens-Konz. 1940, Werkstoffkunde-Sonderheft.

[11] *Luther, T.* și *Stark, E.* Zur Druck - und Temperaturabhängigkeit der Durchschlagsfestigkeit von Kohlenwasserstoffen. Erdöl und Kohle, Bd. 9, 1966, p. 601—606.

[12] *Luther, H.* și *Rottger, H.* Zur Druckabhängigkeit der Durchschlagsgestigkeit von Kohlenwasserstoffen. ETZ-A, Bd. **78**, 1967 p. 462—464.

[13] *Crowe, R. W. Sharbangh, A. H.* și *Bragg, J. B.* Electric strength and molecular structure of saturated hydrocarbon liquids. În : J. appl. Phys., Bd. **25**, 1964, p. 1480—1484.

[14] *Oetjen, G. W.* și *Gross, F.* Gas-und Wasserdampfabsorption hochsiedender Flüssigkeit bei Drücken unter 10 Torr. În : Ing. Techn., Bd. **26**, 1964, p. 9—13.

[15] *Buchholz, H. H.* Über den Einfluss des Gasgehaltes auf das dielecktrische Verhalten flüssiger Isolierstoffe. Diss. TN Braunschweig 1968.

[16] *Clark, F. M.* Moisture in oil-treated-insulation. În : Ind. Engng. Chem., Bd. **44**, 1962, p. 887—893.

[17] *Kaufmann, R. B., Schimanski, E. J.*, Mc. *Fadyen, K. W.* Gas and moisture equilibriums in transformeroil. În : Trans. Amer. Inst. electr. Eng. (I), Bd. **74**, 1965, p. 312—318.

[18] *Sanmann, G.* Uber den Einfluss des Wassers auf die elektrischen Eigenschaften verschiedener Isolieröle. Diss. TH Braunschweig 1968.

[19] *Fabre, J., Pichon, A.* Processus et agents de dégradation du papier dans l'huile. Application aux transformateurs. CIGRE-Ber. 1960, nr. 137.

[20] *Moser, H. P.* Einige Bemerkungen zum Problem der Feuchtigkeit und des Luftsauerstoffs in der Transformatorenisolation. CIGRE-Ber. 1962, Compte rendu, Bd. I, Gr. 12 (Diskussionsbeitrag).

[21] *Buttner, G.* Uber den Einfluss gelöster Gase auf die Stabilität des Ol-Papier-Dielektrikums. F. & G-Rdsch. 1950, H. 28, p. 34—45.

[22] *Oudin, J. M.* Entwicklung der Höchstspannungs-Wechselstromkabel (Zwangsläufig gekühlte Kabel für 1400 bis 1700 MVA bei 500 bis 600 kV). CIGRÈ-Ber. 1958, nr. 212.

[23] *Mackenzie, E. A.* PVC as an insulation for higher voltagen. In : Wire W. Prod., **38**, 1963, 7, p. 959—961, 1017—1019.

[24] *Van Boskirk, R. L.* Polyethilene coating resins. Mod. Plastics **36**, 1969, 9, p. 35.

[25] ××× Second Symposium on butyl for wire and cable insulation. In : AIEE Fall General Meeting Detroit, Mich. Paper Okt. 1961, p. 138.

[26] *Johnson, P.* Solid polypropylene insulation for wire and cable applications. In : Wire W. Prod., **38**, 1963, 3, p. 366—368, 416—417.

[27] *Gore, W, L.* New fluorocarbon insulation compounds. W. L. Gore & Associates, 9th Annual Wire and Cables Symposium, 2 dec. 19, 1960.

[28] ××× Neues Koaxialkabel mit Silikon-Dielektrikum für HF-Industriegeneratoren. BBC-Nachr., 1969, iul., p. 323.

[29] *Alink, R. J. H., Pel, H. J.* și *Speekman, B. W.* Herstellung und Untersuchung von Lackdraht. Philps'Techn. Rdsch., **22**, 1962, 11 p. 334—384.

[30] *Engel, F.* Bedeutung und Entwicklung der Polybutadiene. În : Kautschuk und Gummi, **14**, 1961, 8, WT 261—268.

[31] *Horn. H.* Herstellung und Anwendung des elektrischen Isolierstoffes Styroflex. In : Kunststoffe, **30**, 1940, 3, p. 53—57.

[32] *Hahne, K. H.* Die Fabrikation von Hochfrequenz-Koaxialkabeln. În : Bull. Schweiz. Elektrotechn. Vereins, **52**, 1961, 18, p. 725—728.

[33] *Ball, Qu. R.* Production and laboratory control of high quality polyvinyl chloride compounds for wire and cable insulations and jackets. In : Wire W. Prod., **34**, 1959, 11, p. 1510—513.

[34] *Booth, D. H., Hollingsworth P. M. Lythgoe.* PVC power cables — their design and manufacture. În : Wire Ind., 30, 1963, 349, p. 69—72.

[35] *Oudin, J. M.* Câbles à très haute tension (U⩾380 kV). CIGRE, 1960, Rapport nr. 231.

[36] *Ailleret, P.* Le choix du nouvel — et peut-être dernier — échelon de tension en courant alternatif : 700—750/ /765 kV. În : Rev. Gén. Electr., 1962.

[37] *Oudin, J. M.* Recherches et progrés et récents dans la technique des câbles à courant continu et à courant alternatif à haute tension. CIGRE, 1958, Rapport nr. 212, 3e partie.

Intrat în redacție la 15. I. 1972

TEZE DE DOCTORAT

CZ 621.313.32.012.004

Aurel Dobraniş — **Contribuţii privind funcţionarea maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe.** Conducător ştiinţific — Prof. dr. C. Apetrei

Sistemele electroenergetice foarte dezvoltate din perioada actuală, impun generatoarelor sincrone de construcţie modernă condiţii de funcţionare deosebite de cele de pînă acum. Este necesar a se rezolva probleme noi legate de construcţia şi reglajul unor maşini de sute de megawaţi. Realizarea absorbţiei de putere reactivă de către maşinile sincrone de mare putere, şi funcţionarea stabilă a acestora într-un asemenea regim, reprezintă una dintre aceste probleme.

Teza de doctorat abordează studiul unei maşini sincrone cu două înfăşurări de excitaţie, care poate funcţiona la sarcini reactiv-capacitive importante, eliminînd limitările cunoscute ale maşinilor de construcţie clasică.

Capitolul — „Cu privire la funcţionarea generatoarelor sincrone de construcţie modernă în condiţiile impuse de sistemul energetic de mari dimensiuni" — prezintă actualitatea şi importanţa problemei din punct de vedere tehnic şi economic, şi totodată rolul sporit al sistemelor de excitaţie asupra funcţionării maşinii sincrone în condiţiile impuse de sistemele electroenergetice.

Capitolul al II-lea — „Maşina sincronă cu excitaţie pe două axe" — constituie capitolul central al tezei. Este prezentat principiul de funcţionare al maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe, pornindu-se de la ideea separării celor două funcţiuni ale înfăşurării inductoare : producerea cuplului electromagnetic şi producerea şi reglarea puterii reactive. Se arată că utilizarea celor două înfăşurări de excitaţie permite desfacerea legăturii rigide dintre cîmpul inductor şi axele geometrice ale rotorului, ceea ce face posibilă stabilizarea artificială a maşinii independent de valorile unghiului de sarcină. Se stabileşte sistemul complet de ecuaţii ale maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe, utilizînd metoda Park-Blondel. Cu ajutorul ecuaţiilor stabilite se determină limitele stabilităţii statice şi se demonstrează că acest tip de maşină poate funcţiona stabil într-un domeniu mult mai larg faţă de maşinile de construcţie clasică, permiţînd încărcarea cu sarcini reactive importante, limitate în acest caz numai de solicitările materialelor active ale maşinii. Capitolul se încheie cu unele consideraţii privind realizarea celor două înfăşurări de excitaţie.

Capitolul al III-lea „Modelul experimental al maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe" — prezintă instalaţia experimentală realizată, cu cele două elemente principale ale sale : generatorul sincron şi sistemul de excitaţie statică. Este de asemenea descris traductorul de unghi geometric, realizat într-o construcţie originală, care permite comanda excitaţiei pentru menţinerea stabilităţii la orice unghi de sarcină.

În capitolul al IV-lea „Studiul funcţionării maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe pe un calculator numeric de mare capacitate" se descrie modelul matematic al maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe şi al sistemului de excitaţie a acesteia, precum şi procedeul utilizat pentru rezolvarea pe un calculator numeric a sistemului de ecuaţii.

În capitolul al V-lea — „Rezultatele verificărilor pe modelul experimental şi pe calculatorul numeric IBM-1130" — sînt redate comparativ principalele rezultate experimentale şi de calcul obţinute. Prezentarea în paralel a rezultatelor obţinute pe cele două căi : experimentală şi prin calcul, arată o bună concordanţă între acestea, cît şi cu rezultatele teoretice stabilite în capitolul al doilea. Verificările efectuate au urmărit şi dovedit posibilitatea funcţionării acestui tip de maşină în regimuri caracterizate de sarcini reactiv-capacitive importante, corespunzătoare unor unghiuri de sarcină ce depăşesc cu mult limitele posibile ale maşinilor de construcţie clasică.

Capitolul al VI-lea — „Concluzii" — analizează posibilităţile de aplicare practică a soluţiei, referindu-se şi la sistemul energetic al ţării noastre. În încheiere sînt indicate principalele elemente de noutate aduse de autorul lucrării prin tratarea acestei probleme. Dintre acestea enumerăm :

— stabilirea teoretică a principiilor care guvernează funcţionarea maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe, determinarea limitelor de funcţionare stabilă în funcţie de parametrii maşinii şi ai sistemului de excitaţie a acesteia ;

— stabilirea calitativă şi cantitativă a influenţei sistemului de excitaţie asupra comportării maşinii în cazul particular al regimurilor pseudostaţionare de funcţionare a acesteia la sarcini reactiv-capacitive importante ;

— stabilirea unui criteriu pentru optimizarea unghiului dintre cele două înfăşurări de excitaţie şi a unor relaţii de transformare a parametrilor acestora în funcţie de unghiul dintre ele :

— integrarea ecuaţiilor maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe pe un calculator numeric de mare capacitate ;

— realizarea unui model experimental de laborator al maşinii cu excitaţie pe două axe, a unui sistem de excitaţie statică cu tiristoare, de concepţie proprie, şi a unui traductor de unghi geometric pentru comanda tiristoarelor, într-o concepţie originală.

Prezenta lucrare abordează o temă de mare actualitate din domeniul maşinilor sincrone de mare putere, de construcţie modernă, care interesează neîndoielnic pe specialiştii în problemele construcţiei şi exploatării acestora în condiţii de maximă eficienţă şi siguranţă.

Susţinerea publică a tezei de doctorat a avut loc la data de 30 septembrie 1972, în cadrul Facultăţii de electrotehnică a Institutului politehnic din Bucureşti.

Prof. *Gh. Hortopan*

CZ 621.317.311.082.74

Stoica, A. : **Contribuţii la studiul instalaţiilor pentru măsurarea curentului continuu intens prin compensarea automată a amperspirelor.** Conducător ştiinţific — prof. ing. Alexandru Popescu.

Lucrarea se ocupă de problema instalaţiilor pentru măsurarea curentului continuu intens, problemă de mare interes practic la ora actuală avînd în vedere lărgirea sferei de utilizare a curentului continuu. Literatura de specialitate din ultimii cincisprezece ani, precum şi numeroasele brevete şi instalaţii din această perioadă, arată interesul major de care se bucură domeniul în care se încadrează prezenta teză de doctorat.

Scopul lucrării este determinarea posibilităţilor şi mijloacelor optime care asigură o funcţionare stabilă şi continuă în regim dinamic a instalaţiilor industriale pentru măsura curentului continuu intens prin compensarea automată a amperspirelor.

În prima parte a lucrării este prezentat stadiul actual de dezvoltare a metodelor şi instalaţiilor utilizate la măsurarea curentului continuu intens, concluziile trase în final fiind însoţite de precizarea obiectivelor lucrării. Partea a doua a lucrării se ocupă de erorile instalaţiilor de măsurare a curentului continuu intens prin compensarea automată a amperspirelor şi metodele de reducere a acestor erori. În continuare, în cea de a treia parte a lucrării, se analizează comportarea în regim dinamic a instalaţiilor de măsurare a curentului continuu intens ; în primul capitol este utilizată metoda linearizării ; în capitolul următor se analizează comportarea în regim dinamic ţinînd seamă de nelinearitatea caracteristicilor elementelor reale ale sistemelor de măsură. Ultima parte a lucrării este consacrată construcţiilor şi determinărilor experimentale ; este prezentată etalonarea unei instalaţii, rezultate experimentale privind eroarea de disperie, determinări ale salturilor de curent care pot fi preluate de instalaţie. Lucrarea se încheie cu concluzii şi prezentarea contribuţiilor originale.

Principalele contribuţii aduse de autor constau în următoarele :

— analiza sistematică a erorilor care s-a concretizat în două metode simple de reducere a erorii statice, o metodă de autoetalonare, expresia analitică a erorii de dispersie şi concluziile respective ;

— analiza funcţionării în regim dinamic care a condus la concluzia că sistemul diferenţial constituit de cuplajul magnetic asigură o „bandă largă de trecere", respectiv o viteză ridicată de răspuns ;

— ansamblul de concluzii privind influența parametrilor sistemelor de corecție asupra comportării în regim dinamic (pulsația la care erorile de măsurare ale semnalelor de diferite frecvențe sînt maxime; valoarea minimă a constantei de timp a înfășurării de amortizare pentru ca funcționarea în regim dinamic să devină aperiodică, ș. a.);

— stabilirea condițiilor în care are loc „desprinderea" instalației de măsurat (analizată ca un sistem de urmărire), definindu-se regimuri de „comutare statică" și de „comutare dinamică" ale instalației;

— utilizarea supramodulării, pentru evitarea „desprinderii" sistemului, pentru a putea folosi ca etaj final un amplificator magnetic, în cazul unei instalații cu cuplaj magnetic strîns între circuitul de măsurare și înfășurarea de compensare.

Remarcabilă este de asemenea partea experimentală a lucrării, cu importante contribuții practice. Autorul lucrării posedă două certificate de invenție, bazate pe rezultatele obținute în lucrare.

Teza de doctorat, elaborată la un înalt nivel științific și tehnic, prezentînd numeroase contribuții originale, reușește să elucideze multe din problemele privind instalațiile pentru măsurarea curentului continuu intens prin compensarea automată a amperspirelor.

Susținerea publică a tezei a avut loc în luna iunie 1972, în cadrul Facultății de Electrotehnică a Institutului Politehnic-București.

Dr. ing. *F. Spinei*

RECENZII

C.Z. 621.3.01

A. M. Sucilin: **Utilizarea grafurilor orientate în problemele de electrotehnică.** (Primenenie napravlennih grafov k zadaciam electrotehniki). Leningrad, Energhia, 1971, 104 pag.

De multe ori se afirmă că utilizarea metodei grafurilor orientate, în studiul circuitelor electrice, este lipsită de sens, celelalte metode de studiu permițînd rezolvarea completă a tuturor problemelor. În realitate, folosirea metodei grafurilor orientate prezintă mai multe avantaje, introducerea ei fiind pe deplin justificată. Dintre aceste avantaje remarcăm: — stabilirea funcțiunilor de transfer ale circuitelor folosind un număr minim de operații; — caracterul intuitiv pe care îl dă analizei și sintezei circuitelor electrice datorită legăturilor ușor vizibile dintre termenii funcțiunii de transfer și elementele grafului orientat; — tratarea unitară a unor circuite cu natură fizică diferită, în particular a circuitelor electrice și a sistemelor automate (metoda schemelor bloc care se folosește curent la analiza sistemelor automate este de fapt o formă de prezentare a grafului orientat).

A. M. Sucilin, autorul prezentei lucrări, face parte dintre acei cercetători sovietici care au elaborat procedee de analiză și sinteză a circuitelor electrice pe baza teoriei grafurilor. De altfel, lucrarea sa de doctorat este consacrată problemelor expuse în această carte.

În literatură, o largă răspîndire o au grafurile la care nodurile reprezintă variabilele ecuațiilor, iar arcele — coeficienții lor. Alcătuirea grafurilor asociate circuitelor electrice se face, de obicei, folosind ecuațiile corespunzătoare. În scopul formalizării construcției grafurilor circuitelor electrice, folosind schemele de principiu sau schemele echivalente, A. M. Sucilin recomandă folosirea unui nou tip de graf — graful coeficienților ecuației. La acest graf orientat, nodurile reprezintă coeficienții iar arcele reprezintă variabilele.

În această carte se examinează rezolvarea diverselor probleme de analiză ale circuitelor electrice folosind noul tip de graf orientat, graf care se construiește direct din schema de principiu și nu necesită scrierea ecuațiilor asociate. Se arată că acordarea unei anumite numerotări a arcelor acestui graf permite formalizarea completă a rezolvării problemelor de analiză ale circuitelor electrice și facilitează utilizarea calculatoarelor numerice în acest scop.

De asemenea, în lucrare se ilustrează rezolvarea problemei sintezei circuitelor electrice folosind grafurile orientate. Se prezintă metodica alcătuirii grafului corespunzător unei anumite funcțiuni de transfer și apoi se expune modul de realizare a circuitului electric corespunzător acestui graf.

În primul capitol, după ce se dă definiția grafului orientat se prezintă comparativ graful variabilelor (introdus de către Mason) și graful coeficienților (recomandat de autor). Se arată că cel mai ușor se construiește graful coeficienților pentru circuitele formate din cuadripoli legați în lanț, precum și pentru circuitele apropiate de acestea. Sînt date exemple de construire a grafurilor unui amplificator electronic și a unui transformator electric.

În cel de al doilea capitol se expune un algoritm de stabilire a funcțiunilor de transfer ale circuitelor electrice pasive și ale circuitelor electrice active, folosind subgrafele (subschemele). Algoritmul subgrafurilor are avantajul că permite scrierea funcțiunilor de transfer fără a necesita transformări intermediare ale grafului, cum se procedează uneori în cazul folosirii regulei lui Mason. În circuitele electrice pasive se separă subgraful lanțului (graful părții din schemă formată din cuadripoli legați în lanț), pentru care se poate calcula foarte simplu determinantul, și subgraful format din circuitele care nu fac parte din subgraful lanțului. În cazul circuitelor electrice active, în afară de cele două subgrafuri se mai separă încă un subgraf care ține seama de surse. Controlul scrierii corecte a termenilor funcțiunilor de transfer determinate prin acest algoritm al subgrafurilor este foarte simplu, spre deosebire de cazul utilizării regulii lui Mason cînd acest control nu se poate efectua riguros.

În capitolul al treilea se discută soluționarea problemei analizei circuitelor electrice, iar în capitolul al patrulea — soluționarea problemei sintezei circuitelor electrice. Se prezintă modurile de determinare a valorilor curenților și tensiunilor pentru idiversele laturi ale circuitelor electrice, a valorilor rezistențelor de intrare și de ieșire ale acestor circuite precum și modul de determinare a sensibilității schemelor electronice. Sînt expuse metodele topologice de aflare a criteriilor de similitudine și indicate posibilitățile de realizare a unui circuit electric pasiv care să aibă o funcțiune de transfer impusă.

În ultimul capitol, al cincilea, se face o comparație între metoda grafului orientat al coeficienților, dezvoltată de autor, și alte metode de studiu a circuitelor electrice: metodele matriciale, metodele topologice (metodele grafurilor neorientate) și metoda grafului orientat al variabilelor (metoda lui Mason). Se prezintă domeniile de aplicare a metodei grafului orientat al coeficienților: circuitele de corecție din sistemele automate, schemele filtrelor, schemele amplificatoarelor ș. a.

Cartea este utilă inginerilor electrotehnicieni, electroniști sau automatiști, precum și studenților de la facultățile corespunzătoare.

Ing. *Aurelian Crăciunescu*

REFERATE

CZ 621.3 *Electrotehnică generală*

CZ 621.3.066.6.005

Mayer, U. și Mert, W. **Mijloace de întreținere a contactelor în electrotehnică.** (Kontaktpflegemittel in der Elektrotechnik). În: ETZ-B, nr. 26, 1971, p. 656–658, 4 graf.

După o expunere a principalelor calități ale materialelor necesare tratamentului suprafețelor de contact și a utilizării acestor materiale în cazul contactelor glisante, a fișelor (ștecărelor) și a contactelor prin atingere, este arătată influența favorabilă a ungerii suprafețelor de contact asupra uzurii, rezistenței electrice și a forțelor de frecare în ștecăre.

Materialele de întreținere și conservare au o largă utilizare la ungerea contactelor glisante, la protecția contra coroziunii în depozite și la curățirea suprafețelor de contact. Materialul utilizat trebuie să se întindă într-un strat subțire peste supra-

feţele în cauză, rezistenţa specifică (perpendicular pe strat) fiind de $10^8 \ldots 10^{22}$ Ω cm. Apoi aceste materiale nu trebuie să se altereze şi din acest punct de vedere unsorile pe bază de ulei mineral nu se recomandă. Unsorile de întreţinere nu trebuie să fie agresive faţă de piesele aparatelor de contact, nu trebuie să se evaporeze uşor şi nici să se descompună pe cale termică, căci particulele — rezultat al descompunerii — sînt dăunătoare pieselor din apropiere, în special în cazul siliconilor.

În trei grafice sînt arătate uzura, rezistenţa electrică de contact şi forţa de frecare la contacte glisante unse cu materiale sintetice după 0 — 10.000 de întreruperi.

La contactele prin atingere (fără frecare) utilizarea materialelor de întreţinere (care în acest caz ar servi doar la protecţia suprafeţei, nu şi la reducerea forţei de frecare) prezintă şi dezavantaje datorită descompunerii acestor materiale prin arcurile electrice produse şi a depunerii produselor descompunerii, în special a carbonului, pe suprafeţe de trecere a curentului. De aceea, în privinţa utilizării acestor materiale la contactele prin atingere (apăsare verticală) părerile sînt împărţite.

Întrucît piaţa oferă astfel de materiale cu însuşiri mecanice, electrice şi chimice diferite, ele trebuie să fie alese în conformitate cu utilizarea lor, utilizînd de exemplu astfel de materiale cu vîscozitate ridicată acolo unde este vorba de forţe şi viteze mari ale pieselor de contact. Joacă, de asemenea, un rol important de aplicare a acestor materiale (prin pipete etc.), ştiindu-se că în cazul stropirii izolanţilor (mai ales a celor din materiale sintetice) acestia sînt alteraţi de către substanţele organice. Un ultim grafic arată pentru diferite materiale de protecţie durata pînă la distrugerea probabilă a izolanţilor sintetici (termoplaste).

Gh. C.

CZ 621.3.048.1.004

Thibault, M. şi Galand, J. **Studii efectuate în 1971 la LCIE. Metode fizico-chimice de studiu al degradării izolaţiilor în serviciu.** (Etudes effectuées en 1971 par LCIE. Moyens physico-chimiques d'étude des degradations d'isolations en service).
În : RGE, **81** nr. 1, 1972 p. 48—53, 12 fig. 3 ref.

Se prezintă încercările efectuate la laboratorul central al industriilor electrice din Franţa (LCIE) în domeniul detecţiei preventive a incidentelor ce pot apare într-o izolaţie, datorită acţiunii descărcărilor parţiale sau unor solicitări termice. Pe baza rezultatelor obţinute utilizînd cromatografe şi celule de încercări se fac unele consideraţii şi recomandări deja aplicate în exploatare. Această metodă de diagnostic a fost fondată pe o serie de observaţii cantitative şi calitative făcute pe construcţii variate de transformatoare (cu conservator, cu pernă de azot etc.).

Dintre rezultatele noi obţinute, merită a fi menţionate cele privind separarea defectelor. Astfel, prezenţa numai a hidrogenului presupune existenţa unor descărcări doar în ulei, în timp ce separarea cromatografică şi a altor compuşi, CO_2, C_2H_2 este specifică degradării hîrtiei. Urmărirea în timp a evoluţiei compuşilor de descompunere, lasă să se întrevadă posibilitatea de decelare a defectelor.

Fl. T.

CZ 621.311.22.072.8 : 681.322.05.

Scott-Kerr, R. J. **Sistemul de control cu calculator electronic de la Centrala termoelectrică Pembroke.** (Computer-aided control at Pembroke power station). În : Electronics + Power, martie 1972, p. 87—90, 4 fig., 2 tab.

La Centrala termoelectrică din Pembroke, Wales, Marea Britanie, a fost instalat un sistem de calculator electronic care constituie un mijloc de a controla patru unităţi (cazan-turbină-alternator şi echipamentul comun al serviciilor de centrală). Este un sistem multiprocesor proiectat de GEC-Elliott Process Automation Ltd.

Fiecare procesor cu intrare-ieşire este un procesor cu memorie-program avînd propriul său cod de ordine; toate pot opera concurent cu o rată de transfer date de 7 Mbit/s la memoria controlată a procesorului principal aritmetic şi logic.

Caracteristica principală a calculatorului de la Pembroke este un ingenios sistem de analiza şi reducerea alarmei în instalaţie, dînd conducerii exploatării imagini şi înregistrări ale condiţiilor de alarmă aşa cum se află în actual. Nu este un monitor direct dar informaţia dată de 10000 puncte controlate face posibil ca fiecare unitate să fie supravegheată strîns şi operată economic. Pornirea, încărcarea, oprirea unităţilor este condusă de echipament cu conexiuni convenţionale-logic secvenţiale a căror funcţionare este de asemenea controlată de sistemul calculator; defectele sînt anunţate la operatori prin tuburi catodice.

Funcţia completă a sistemului calculator este de a furniza pentru fiecare din cele patru unităţi cazan-turbină-alternator următoarele procese: explorare de parametrii instalaţiei; explorare de stările instalaţiei; analiza de alarme; înregistrare post-indirect; imagini de date; înregistrări tipărite; calculaţii de performanţe; programe indirecte.

În articol se dau amănunte şi două scheme-bloc despre funcţionarea acestui sistem de control.

1. Explorări de parametri. Se utilizează exploratoare analoge sub controlul procesorului intrare-ieşire corespunzător pentru a obţine date din instalaţie într-o formă convenabilă sistemului. 1024 puncte per unitate explorate cu o rată medie 130 s^{-1} sînt transformate numeric şi citite în calculator cu o precizie de 0,1% exclusiv erori de transductor.

2. Explorarea stării contactelor instalaţiei reprezentînd poziţiile întreruptoarelor de circuite, ale întreruptoarelor de fine de cursă şi altele asemenea este dusă de exploratoarele digitale ale unităţilor şi centralei. Fiecare explorator de unitate poate întreba 1472 contacte din instalaţie cu o rată de 1 ms per grup de 16 intrări. Datele ajung la procesorul cu transfer unic intrare-ieşire corespunzător. Toate schimbările de stare digitale sînt depuse pe imprimatorul cu bandă al unităţii corespunzătoare.

3. Analiza de alarme. Elementele instalaţiei sînt împărţite în grupe funcţionale aşa încît utilizînd un limbaj orientat operaţia acestor grupe poate fi descrisă calculatorului prin mijlocirea unor formulări logice simple derivate dintr-un set de diagrame logic-operaţionale ale instalaţiei. În condiţia unei alarme, analiza calculatorului face să apară semnale prin imagini catodice la pupitrul de control.

4. Înregistrare după incident. În condiţiile unei alarme majore care ar putea conduce la greşeli în unitate începe o ieşire automată pe panglică de hîrtie; aceste puncte sînt înregistrate la intervale predeterminate între 10 şi 60 s. Se pot da şi imagini tubular-grafice, pe tuburi catodice montate la pupitrul de control, pentru referinţe, calcule, control, verificări.

5. Calcule de performanţe. Scopul acestor calculaţii de performanţe, efectuate de calculator din date obţinute prin intrări selecţionate, este: calcularea eficienţei elementelor instalaţiei, compararea condiţiilor curente cu condiţii „ca şi noi", verificarea performanţelor elementelor instalaţiei faţă de criteriile de performanţă corespunzătoare, stabilirea performanţei de eficienţă termică a centralei.

8. Programe indirecte. Se pot efectua operaţii off-line cu programe care nu cer acces la datele on-line şi nu pericliteză programul normal on-line. Tipurile de program off-line sînt asociate cu precizarea condiţiilor optime de funcţionare, productivitate şi întreţinere.

Organele executive ale Centralei Pembroke au, în principal, funcţiile: controlul priorităţii programelor şi al multiprogramării; controlul intrării-ieşirii informaţiei prin organizarea şi controlul tuturor procesorilor intrare-ieşire; stocarea dinamică a datelor, cu o porţiune din aria stocului principal servind la păstrarea programelor în tambure magnetice.

D. D.

CZ 621.313 *Electrotehnică generală*

CZ 621.313.1.048.1 : 621.317.333.6.024.027.7

Schuler, R. şi Bernhard, W. **Determinarea stării de izolare a înfăşurării maşinilor, prin măsurări de curent sub o tensiune continuă ridicată.** (Détermination de l'état de l'isolation d'enroulements de machines par des mesures de courant sous une tension continue élevée). În : Revue Brown Boveri, **59**, nr. 2/3, 1972, p. 68—72, 2ref, 6 fig.

Pentru determinarea stării de izolare a maşinilor care se găsesc în serviciu, se recomandă adesea măsura curentului de fugă sub o tensiune continuă. Bazîndu-se pe măsurări ale curentului de fugă în partea ancoşei şi a capetelor de bobină, efectuate pe modele de înfăşurare izolate cu Micadur şi îmbătrînite, în timp de mai mulţi ani, autorii comunică un larg

volum de rezultate. Acestea arată în mod clar că practic este imposibil de a aprecia starea dielectrică a înfăşurării unei maşini izolate cu răşini sintetice utilizînd măsurarea curentului de fugă sub tensiune continuă.

Curentul transversal al ancoşei — care interesează în primul rînd — este extrem de mic şi nu variază decît foarte puţin în timpul îmbătrînirii şi este puternic mascat de curenţii din capetele de bobină, mult mai ridicaţi. În plus, ultimii cresc mai repede ca tensiunea şi mai puternic cu îmbătrînirea (spre exemplu, curenţii de ancoşă pe fază, ating pentru un turboalternator de putere medie o valoare de 5.10^{-7} A şi cresc proporţional cu tensiunea, în timp ce curenţii din capetele de bobină sînt cel puţin de 10 ori mai ridicaţi şi cresc mai rapid ca tensiunea de încercare).

Se arată că după experimentările de pînă acum, măsurarea curentului pe înfăşurări nu permite în general detecţia deteriorărilor mecanice şi impune continuarea studiilor.

Fl. T.

CZ 621.313.32. – 81 : 311.25

Hiebler, H. **Alternatorul de 1333 MVA pentru centrala nucleară „Donald C. Cook" a corporaţiei americane American Electric Power (AEP).** (L'alternateur de 1333 MVA pour la centrale nucléaire „Donald C. Cook" de l'AEP). În : Revue Brown Boveri, 1972, vol. **59**, ian. 1972, p. 20—29, 9 ref.

Se indică performanţele pe care le prezintă ultima construcţie de alternator realizată de firma Brown Boveri pentru reţeaua energetică americană.

Din punct de vedere al construcţiei, alternatorul este cuadripolar, cu o viteză de rotaţie de 1800 rot/min. Înfăşurarea statorică este răcită cu apă, în timp ce înfăşurarea rotorică şi pachetul de fier sînt răcite direct prin hidrogen. Dintre performanţele mai importante merită a fi remarcate : puterea aparentă, 1333 MVA; cos φ, 0,85; tensiunea nominală, 26 kV ± 5%; viteza de rotaţie, 1800 rot/min; presiunea de hidrogen, 4,2 kg/cm^2; încălzirea, clasa B.

Rotorul se compune din şase părţi ceea ce a permis obţinerea unei piese forjate ireproşabil, în greutate de 200 t. Statorul prezintă o inovaţie; conductorii din oţel antimagnetic şi inoxidabil sînt dispuşi în bare Roebel pentru răcire. Pentru că apa parcurge atît bornele, cît şi conductoarele ce leagă pe acestea de înfăşurări în tuburile de oţel inoxidabil, totalitatea circuitului apei de răcire, este constituită dintr-un singur material inoxidabil. Apa nu intră în nici un punct în contact direct cu cuprul înfăşurărilor şi bornei. Barele statorice sînt realizate în izolaţie micadur (răşină sintetică în clasă F).

Nenumăratele probleme noi puse în faţa constructorului : forţele electrodinamice, regimurile termice, ventilaţia, comutaţia, au impus realizarea a numeroase modele pe care s-au efectuat studii.

Transportul unui asemenea agregat a pus probleme dificile dat fiind cele aproape 400 t ale statorului şi 200 t ale rotorului. Se descriu vehiculele cu şenile special construite pentru acest scop — putînd fiecare să transporte 400 t — ca şi navele cu care alternatorul a fost transportat.

Fl. T.

CZ 621.314.2 *Transformatoare. Convertizoare*

CZ 621.314.263 AM

Bird, B. M. şi Ridge, J. **Convertor de frecvenţă prin modulare în amplitudine** (Amplitudine — modulated frequency changer) În : Proceedings IEE, vol. 119, nr. 8, august 1972, p. 1156 — 1160, 8 fig., 3 ref. bibl.

Modularea în amplitudine a cîmpurilor magnetice spaţiale din intrefierul maşinilor asincrone în scurt-circuit a devenit în ultimii ani o metodă tot mai atractivă în comanda maşinilor electrice deschizînd domenii noi în tehnica reglajului de viteză. Pornind de la principii asemănătoare, autorii articolului de faţă propun un convertizor de frecvenţă bazat pe modularea în amplitudine a unui sistem de tensiuni alternative, trifazate, simetrice, la care modificarea factorului de modulare (numere întregi) permite obţinerea în trepte a unor frecvenţe variabile între 25 şi 50 Hz. Experimentele iniţiale au fost realizate cu o modulare rectangulară pe un model de 0,75 kW format dintr-un transportor trifazat cu înfăşurări secundare independente la capetele fiecărei înfăşurări fiind înseriate cîte un element semiconductor bidirecţional comandat (triac sau tiristor back-toback) care printr-o aprindere convenabilă asigură modularea rectangulară amintită. Faptul că stingerea acestor elemente de comutaţie este realizată numai pe cale naturală, factorul de modulare nu poate fi decît un număr întreg, motiv care limitează posibilităţile de reglaj şi implicit conduce la un conţinut ridicat de armonici în tensiunea rezultantă. Aceste două dezavantaje limitează domeniul de utilizare a sistemului, încercările experimentale preliminare conducînd la rezultate pozitive doar pentru cîteva frecvenţe, (în special 25 şi 40 Hz). În lucrare sînt prezentate caracteristicile mecanice obţinute pe modele experimental, apariţia unor cupluri negative importante fiind explicată prin subarmonicele generate simultan cu armonicele principale dorite, subarmonici pentru care autorii caută în prezent diverse metode de anihilare. Deşi în forma actuală soluţia nu are şanse tehnico-economice prea mari de aplicabilitate imediată metoda propusă este ingenioasă şi deschide un domeniu de utilizare a semiconductoarelor comandate în tehnica acţionărilor electrice de viteză variabilă, lărgind spectrul de frecvenţă al cicloconverterilor clasici.

R. M.

CZ 621.315.6 *Materiale izolante*

CZ 621.315.616.96 – 762.2.002.

Wrzecian, M. **Diferite procedee de metalizare a maselor plastice.** (Les différents procédés de métallisation des matierès plastiques). În : Galvano, nr. 418, 1972 p. 56—58.

Utilizarea tot mai masivă a maselor plastice în construcţiile electrotehnice impune găsirea celor mai adecuate metode de metalizare atît pentru scopuri decorative, cît şi de protecţie. Se face o trecere în revistă a metodelor ce au la bază metalizarea prin argintare sau sub vid.

Ultimele descoperiri în domeniul metalizării maselor plastice îl constituie realizarea unui strat suport de bază pe care se depune electrolitic un strat de cupru pe care se poate aplica apoi orice metal dorit. Rezultatele cele mai bune, — în ceea ce priveşte aderenţa, s-au obţinut în momentul de faţă pe amestecul de trei tipuri de polimeri : acrilonitril, butadien şi stiren, aşanumitul ABS, utilizat astăzi în largi aplicaţii şi în electrotehnică.

Largi perspective se prevăd în viitorul apropiat tehnicilor utilizate pentru metalizarea teflonului.

În încheiere se prezintă metodele cele mai adecvate pentru verificarea aderenţei.

Fl. T.

CZ 621.315.616.96.002

Saure M. **Materiale sintetice în electrotehnică.** Exemple noi de utilizări (Kunststoffe neuerer Anwendungen) În : ETZ-B, nr. 23, 1971, p. 569—474, 4 fot., 2 graf.

Sînt descrise cîteva noi utilizări ale materialelor sintetice precum şi progresul realizat în domeniul calităţilor şi prelucrării acestora. Evoluţia în acest domeniu a condus la noi materiale, la noi posibilităţi de fabricaţie. Spre deosebire de instalaţiile interioare unde răşinile epoxidice şi-au dovedit repede superioritatea faţă de porţelan, în instalaţiile exterioare a trebuit să fie considerată siguranţa faţă de curenţii de scurgere. Este arătată evoluţia (încercării cu diferite răşini) pînă la realizarea izolatoarelor suspendate de 110 kV, avînd o vînă de sticlă, care în diferite instalaţii sînt în funcţie de peste 4 ani. Actualmente sînt încercate şi astfel de izolatoare pentru 220 kV.

Pentru înfăşurarea bobinelor sau bornelor din generatoare s-au executat benzi de mică acoperite şi legate între ele cu răşini pe bază de bisfenol A, care au înlocuit cu succes şerlacul şi asfaltul. S-au realizat apoi benzi şi micafolii cu lianţi din alte răşini, obţinîndu-se calităţi superioare termice şi dielectrice şi însuşiri avantajoase din punct de vedere al depozitării, al înfăşurării, al viscozităţii, al impregnării omogene şi al fabricaţiei rapide. Un grafic ne redă factorul de pierderi al unei astfel de izolaţii în funcţie de cîmpul electric şi de temperatură.

În privinţa maselor plastice pentru izolarea elementelor semiconductoare (diode, tranzistoare etc.), care în stare solidificată trebuie să prezinte o mare rezistenţă la solicitări mecanice, umiditate şi temperatură, s-au dovedit corespunzătoare răşinilor siliconice şi epoxidice. Pentru a se respecta

parametrii de prelucrare, trebuie ca de exemplu, valoarea constantă a viscozității să fie supusă unor condiții tot atît de serioase ca și menținerea acestei valori în timpul depozitării, și aceasta în scopul realizării unei solidificări constante. Prin optimizarea parametrilor de prelucrare s-au obținut durate de serviciu de 15.000 ore, deci mult superioare față de cele ale capsulării metalice.

Izolațiile omogene și spumate de poliuretan au dovedit însușiri speciale la căptușirea interioară a cuvelor de transformator, pe care le protejează față de influența uleiului și a clofenului. Sînt indicate și alte utilizări ale poliuretanului cum ar fi : umplerea mufelor de cabluri, confecționarea mufelor de cablu, carcasele computerelor etc.

În domeniul construcției electromotoarelor lacurile izolante ale conductoarelor compuse din poliamide au calități superioare. Astfel de lacuri (poliamidice, poliesterimide etc.) prezintă o rezistență termică și chimică ridicată.

Termoplastele armate cu fibră de sticlă (pînă la 35% din greutate) prezintă avantaje din punct de vedere al rezistenței mecanice, durității, reducerii alungirii, menținerea formei etc. Din astfel de termoplaste armate (policarbonat, poliprofilen etc.) se pot executa piese cu solicitări dinamice (ventilatoare sau carcase pentru mașini de găurit de mînă). Pentru tensiuni înalte (10 și 20 kV) s-au realizat de exemplu izolatoare suport, superioare celor din porțelan în cazul arcurilor electrice.

În privința cablurilor de înaltă tensiune (pînă la 110 kV) hîrtia impregnată cu ulei este înlocuită într-o măsură tot mai mare cu polietilenă, care în special la scurtcircuite prezintă o siguranță superioară. O diagramă ilustrează comportarea mecanică în funcție de temperatură la diferite variante de polietilenă.

În încheiere sînt amintite copolimerizatele de etilenă, o categorie de cauciucuri utilizate în special pentru conductoare flexibile, prezentînd avantaje din punct de vedere al îmbătrînirii și rezistenței termice (120°C) și fiind utilizabile în cuptoare electrice și electromotoare.

Gh. C.

CZ 628.9 ***Tehnica iluminatului***

CZ 628.972.6 : 621.355

Grossmann, R. H. **Iluminatul de siguranță prin sistemul cu baterie proprie** (Sicherheitsbeleuchtung nach dem Einzelbatteriesystem) În : ETZ-B, nr. 23, 1971, p. 584—586 3 fot., 2 scheme.

Tendința spre perfecționare și siguranță a dus la realizarea unor sisteme de iluminat de siguranță cu baterii proprii în loc de baterii centrale, realizîndu-se economii prin renunțarea la folosirea unei rețele speciale pentru iluminatul de siguranță. Noile prescripții (încă sub tipar) ale VDE prevăd și acest nou sistem al iluminatului de siguranță utilizabil atît cu lămpi incandescente cît și cu tuburi fluorescente pentru birouri, laboratoare, ateliere, etc. Funcționarea acestui sistem este simplă. Cînd există tensiune în rețea, bateria se încarcă prin intermediul unui dispozitiv de încărcare, iar la dispoziția acestei tensiuni lampa este comutată automat pe baterie printr-un dispozitiv de comandă, care la revenirea tensiunii stinge lampa și reîncarcă bateria. Conform schemei arătate lampa poate ilumina și cînd există tensiune în rețea, alimentîndu-se din rețea printr-un transformator. În general sînt utilizate baterii Ni — Cd etanșe.

O siguranță sporită o oferă automatica electronică de supraveghere a rețelei și de comutare conform schemei. Cînd există tensiune în rețea, lampa este stinsă iar la dispoziția tensiunii lampa este aprinsă (prin intermediul transistoarelor). La scăderea tensiunei din baterie sub o anumită tensiune (reglabilă), lampa este declanșată protejîndu-se astfel bateria de o descărcare peste limită.

Datorită multiplelor varietăți din punct de vedere al formei și protecției precum și al puterii lămpilor și duratei de ardere s-au dezvoltat foarte variate modele ale acestor sisteme cu baterii proprii cum ar fi sistemul cu lămpi cu reflector pentru încăperi industriale etc.

Gh. C.

SCURTE ŞTIRI

O baterie uscată de mare capacitate s-a realizat în Anglia pentru obţinerea unei funcţionări mai îndelungate a aparatelor portative de telecomunicaţii, magnetofoane etc. Această baterie este mai uşoară şi mai mică decît obişnuitele elemente Leclanché. Bateria cu zinc — aer cîntăreşte 32 g şi furnizează o putere de 5 ori mai mare decît bateriile uscate obişnuite, de aceeaşi mărime.

Din ETZ — B, nr. 9, 1972

500 km/h va fi viteza trenului rapid proiectat pentru a funcţiona din anul 1980 între Tokio şi Osaka. Siguranţa circulaţiei va fi asigurată de instalaţii electronice de mari proporţii.

Din ETZ-B, nr. 9, 1972

Un microscop electronic realizat în S.U.A. măreşte pînă la 1 :1 milion. Se pot vedea şi amănunte de 0,2 mm. Măriri fotografice de 1 : 27 milioane fac perceptibile serii de atomi şi intervalele dintre ei, de exemplu la filme metalice.

Din ETZ-B, nr. 9, 1972

Cele mai mici fisuri în paletele turbinelor se pot vedea datorită unui sistem (cu cripton 85) realizat în S.U.A. Un gaz radioactiv este absorbit de cele mai mici fisuri.

Din ETZ-B, nr. 9, 1972.

Prima centrală telefonică din lume comandată prin computeri şi destinată telefoniei automate pe tot globul a fost inaugurată în decembrie 1971 la Rotterdam. Fiind instalată de firma suedeză Ericsson posedă 2400 de conducte, care pleacă în diferitele direcţii ale lumii şi permite 500 000 de convorbiri interne şi externe în 24 ore.

Din ETZ-B nr. 5/1972.

Progresele realizate în domeniul electromobilelor în S.U.A. sînt de aşa natură încît în curînd circa 20 milioane de automobile cu motor de ardere internă vor fi înlocuite, în special în oraşe, cu electromobile.

Din EZ-B nr. 5/1972.

Alegerea locului de amplasare a centralelor nucleare devine tot mai dificilă. De aceea Weslinghouse (SUA) dezvoltă astfel de centrale pe ,,insule artificiale'' ancorate în ocean, distanţate de mal. Se rezolvă astfel şi problema apei de răcire.

Din ETZ-B nr. 22/1971.

Automobilele secolului al 21-lea după comunicarea revistei din R.D.G. ,,Wissenschaft und Fortschrifft'' (Ştiinţă şi proggres) vor fi acţionate cu hidrogen, deoarece producerea şi acumularea energiei electrice în agregate mobile este prea dificilă.

Din ETZ-B nr. 22/1971

Un record mondial de viteză cu un electromobil a fost **realizat** de Dr. G. v. Opel. Alimentat cu acumulatoare de serie ,,Varta'' cu nichel-cadmiu, care, la rîndul lor alimentează cu 360 V două electromotoare ,,Bosch'' (total 88 kW), electromobilul a realizat pe distanţa de 1 km ...188,86 km/h, pe distanţa de 10 km ... 126, 89 km/h, iar pe distanţa de 44 km viteza medie a fost 100,8 km/h.

Din ETZ-B, nr. 14/1971

O peliculă de film cu încălzire electrică aplicată pe geamurile automobilelor topeşte gheaţa şi zăpada. Filmul ,,Hyviz'' realizat de o firmă britanică este incolor, lasă să treacă 80% din lumină şi are o rezistenţă de 10 ... 100.

Din ETZ-B, nr. 14/1971

În scopul protecţiei atmosferei contra poluării ,,Edison Company'' şi ,,ASEA'' au convenit să introducă necesarul de energie electrică (puterea 2 GW) în centrul oraşului Chicago cu ajutorul unor cabluri de înaltă tensiune, de la centrale aflate departe de zona oraşului. Sînt încercate două alternative: curent continuu sau trifazic de înaltă tensiune. Cîteva din centralele apropiate de oraş s-au şi desfiinţat.

Din ETZ-B, nr. 22, 1971

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. dr. doc. şt. tehn. PL. ANDRONESCU; **prof. dr. doc. şt. tehn.** I. S. ANTONIU, **membru coresp. al Academiei Republici Socialiste România; acad. dr. doc. şt. tehn.** A. AVRAMESCU — **redactor responsabil; ing.** V. BUNEA; **ing.** V. CIOFU; **prof. dr. doc. şt. tehn.** V. CORLĂŢEANU; **ing.** ŞT. GROSU; **prof. dr. ing.** G. HORTOPAN — **redactor responsabil adjunct; conf. ing.** G. LAZARIDE; **conf. dr. ing.** D. F. LĂZĂROIU; **ing.** M. OPASCHI; **ing.** A. POPA; **prof. ing.** CRISTIANA POPESCU; **ing.** VL. POPOVICI; **acad. prof. dr. doc. şt. tehn. ing.** R. RĂDULEŢ; **ing.** R. VLĂDOIANU.

Revista "ELECTROTEHNICA", **organ al Ministerului Industriei Construcţiilor de Maşini-Unelte şi Electrotehnicii şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, este editată de Oficiul de documentare şi publicaţii tehnice al** M.I.C.M.G., **cu sediul în Bucureşti, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director: 14.62.67. Redacţia: Bucureşti str. Mărdineşti, nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacţie: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 35.12.59. Instituţiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30 060 300 Banca Naţională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, Bucureşti. Tarif pentru instituţii şi întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informaţia", Bucureşti, str. Brezoianu, nr. 23 — 25, c. 1243.** *Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.P.D.P. nr. 137/10.078/1972*

41 400

daro CELLATRON

Datele pot fi recepționate centralizat sau descentralizat.
Dar centralizat și descentralizat în același timp?

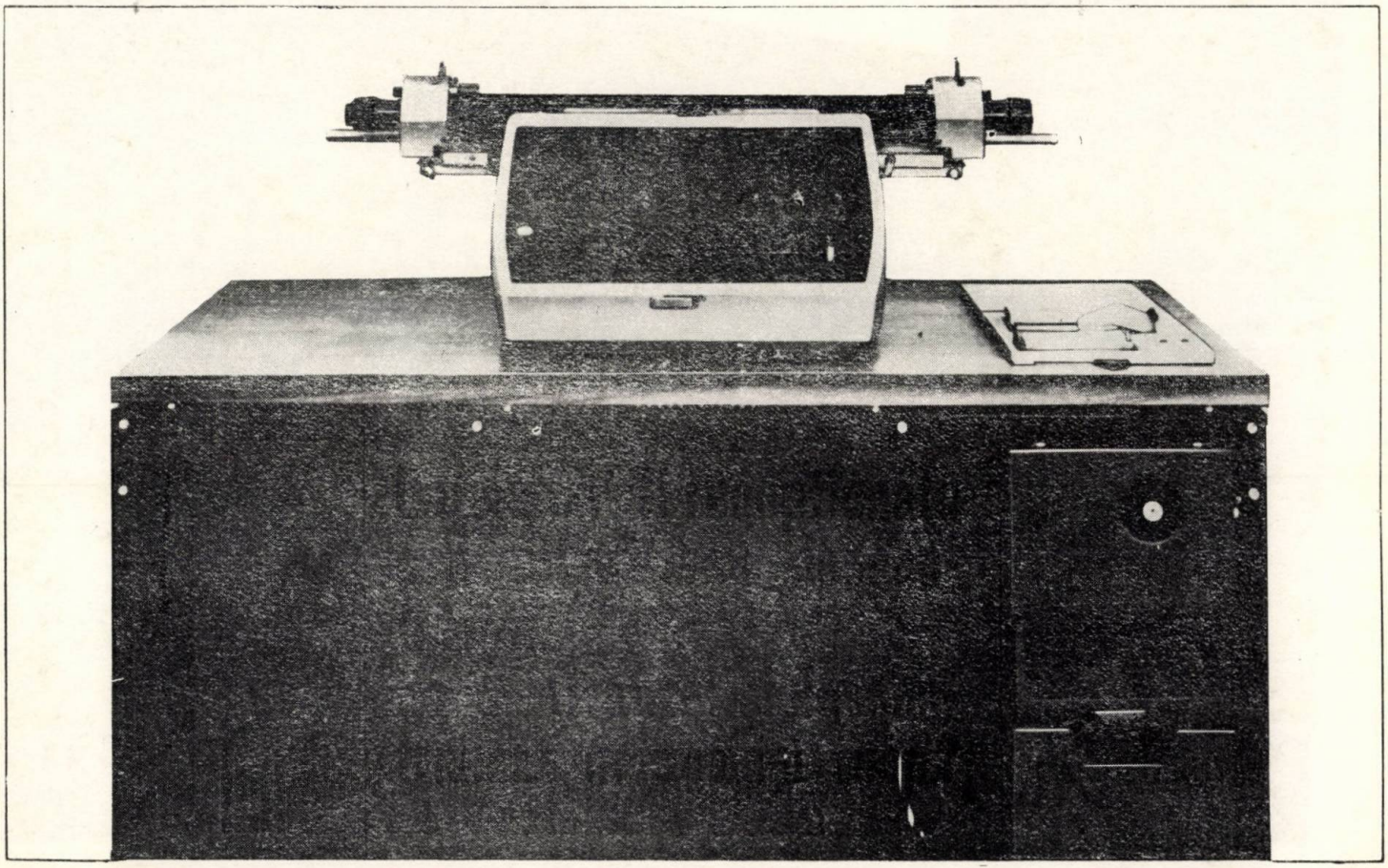
bme

BÜROMASCHINEN EXPORT GmbH Berlin
R.D.G. — 108 Berlin,
Friedrichstrasse 61
Republica Democrată Germană

Aparatul nostru alfanumeric de recepționare a datelor „daro-Cellatron 1310" reușește să facă acest lucru prin completarea concomitentă de tabele, liste și justificative cu emiterea de benzi perforate care pot fi prelucrate ulterior (ca de exemplu în cadrul instalațiilor noastre de calcul electronic daro-Cellatron 8205, automatul de calculat electronic daro-Soemtron 385 sau, în cadrul instalațiilor electronice de prelucrarea datelor).
Este deci garantată o recepționare centralizată cît și una descentralizată.
Vă rugăm să solicitați documentație suplimentară.

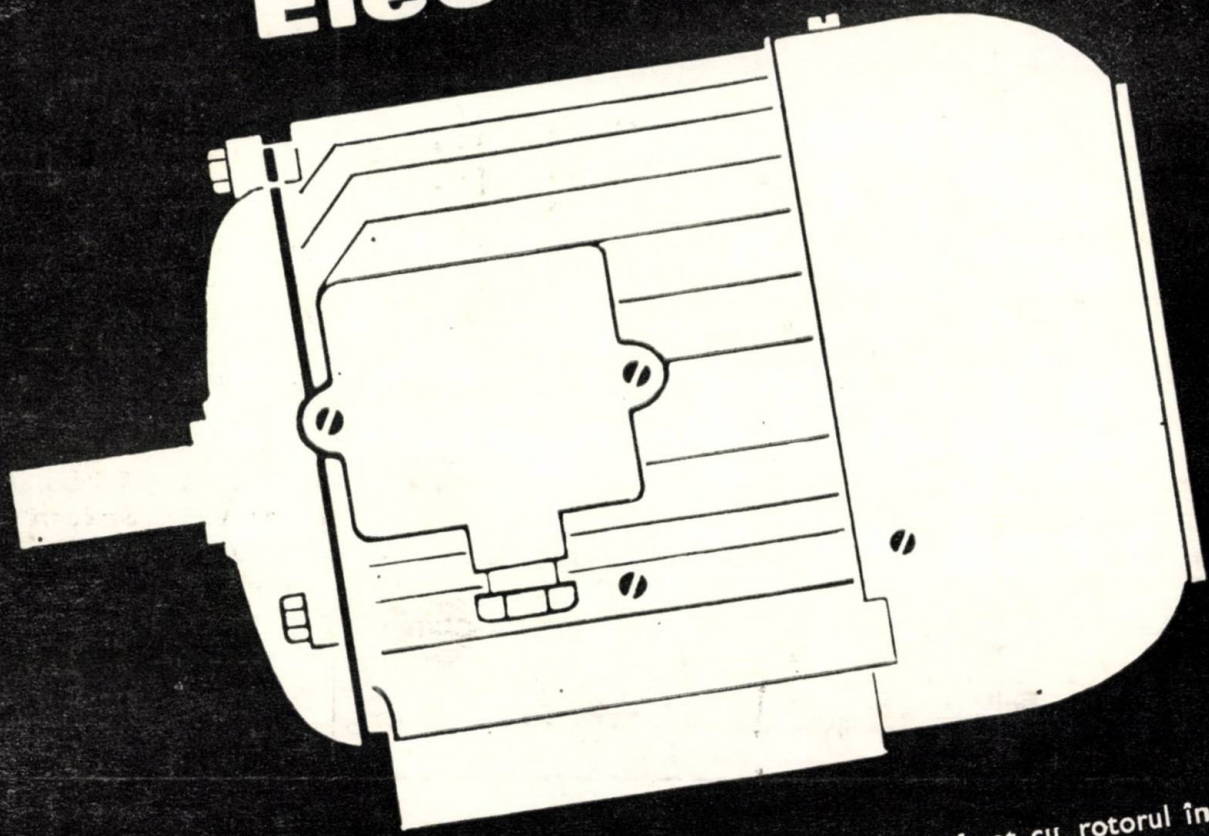
CARACTERISTICI DE BAZĂ :

- Aparat de recepționarea datelor daro-Cellatron 1310
- Posibilități de codificare variabile a benzii perforate în sisteme de canal 5 — 8.
- Sistem de ștanțare cu viteza de 0—12 semne/secundă.
- Viteza de elaborare la utilizare asincronă 25 semne/secundă, iar la utilizare permanentă 50 semne/secundă.



PUBLICOM

Electroimpex



Electromotoare — asincrone de curent trifazat cu rotorul în scurt circuit, tip AO, AO—2 și AOP, complet închise, pentru 220/380 sau 380/660 V, 50 Hz. Au un randament de 0,37—100 kW și o turație sincronă de 750, 1500 și 3000 rot/min.

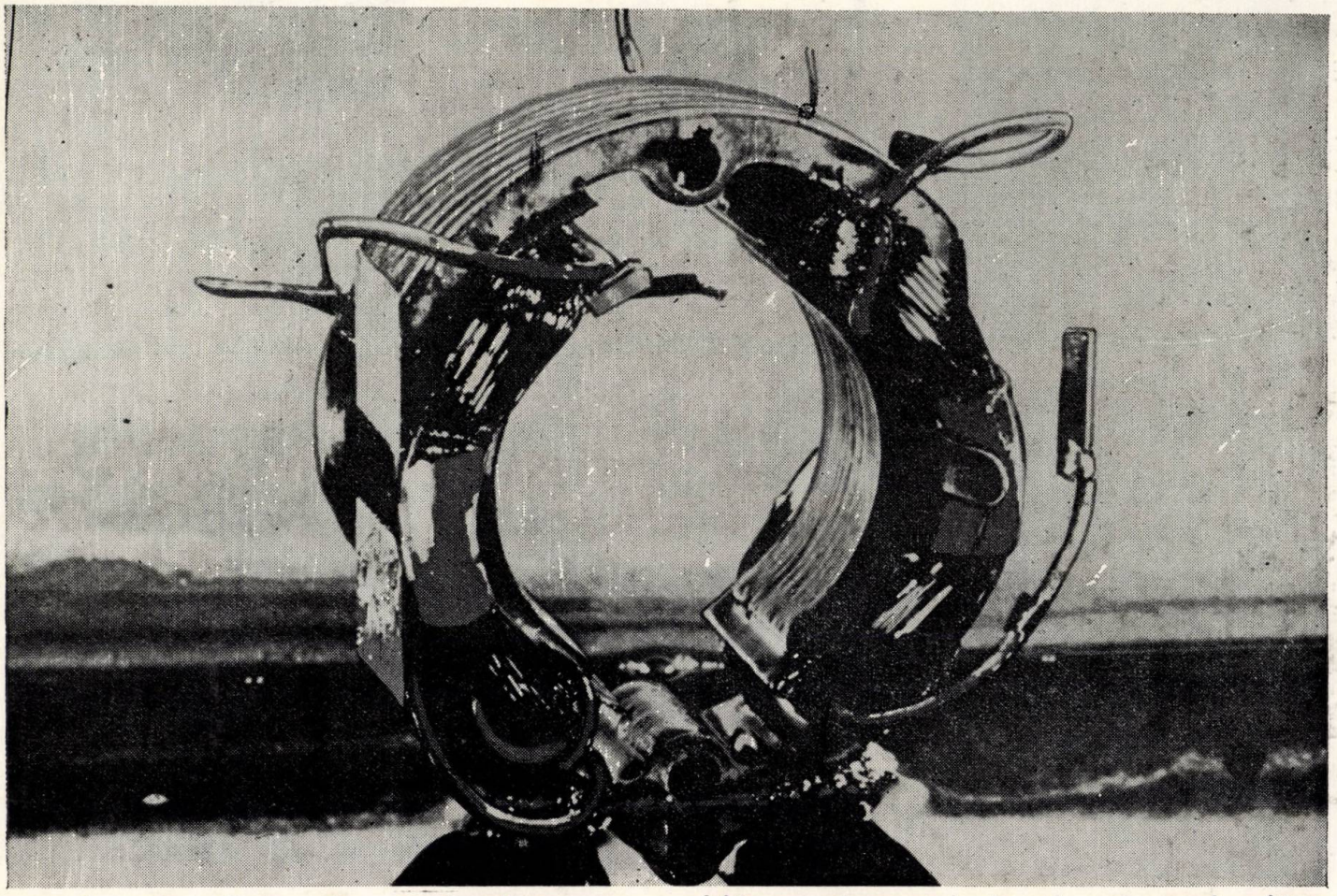
Electromotoare — asincrone de curent monofazat, tip EO, EOPK și EOBC, cu un randament de 0,18 — 1,1 kW și o turație de 1500 și 3000 rot/min.

Aceste electromotoare se remarcă prin proprietățile lor tehnice și electrice deosebite ca și prin siguranța lor, în funcționare.

Exportator : Intreprinderea de Comerț Exterior ELEKTROIMPEX — BULGARIA
Sofia, str. G. Washington, nr. 17 • Telefon : 88.49.91 • Telex : 575

PUBLICOM

ndustria electrotehnică are multe probleme și tesa oferă numeroase soluții.



Benzile de lipit electroizolatoare tesa s-au verificat în fabricarea înfăşurărilor pentru transformatoare ca izolaţie de miez şi ca izolaţie intermediară, la lipirea straturilor de bobinaj, ca bandaje de capăt la bobine, sau la întărirea marginilor căptuşelii crestăturilor. Acestea sînt doar cîteva exemple din vastul domeniu de aplicare în electrotehnică.

Vă rugăm, trimiteţi cuponul alăturat şi veţi primi material informativ detaliat.

Cupon

Dorim să ne informăm în mod gratuit şi fără a ne asuma o obligaţie. Vă rog să ne trimiteţi:

☐ Informaţii amănunţite în legătură cu benzile de lipit electroizolatoare tesa

☐ Cîteva mostre de role (rugăm indicaţi modul de folosire)

☐ O ruletă cu bandă tesa pentru biroul meu

Firma (întreprinderea)

Secţia

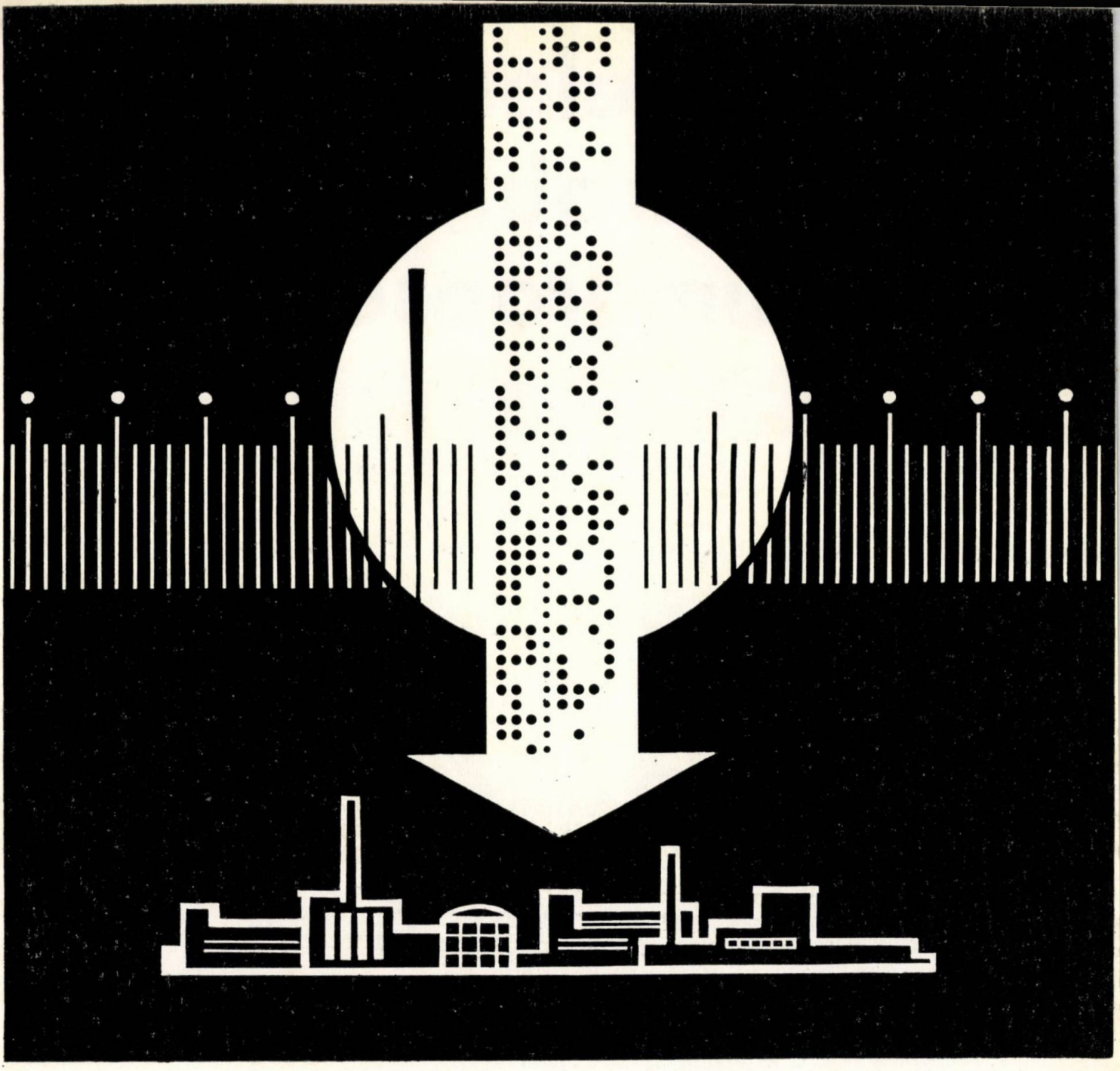
Adresa

Decupaţi cuponul, indicaţi cele dorite şi trimiteţi la adresa:

tesa

BEIERSDORF, AG, 2 Hamburg 20, Unnastrasse 48

Republica Federală a Germaniei



Măsurări, comandă şi reglare într-un singur sistem

Seria Ursapneu-Nulltrend este un sistem complet de aparate pneumatice pentru reglare, comandă şi afişare. Datorită unei concepţii tehnice progresive şi constructive, precum şi posibilităţii de montare compactă, sistemul corespunde tuturor cerinţelor impuse unei instalaţii moderne de control.

Întreprinderea noastră de comerţ exterior vă oferă un program vast de aparate de înaltă calitate produse de Combinatul pentru tehnica măsurării şi reglării VEB-Dessau :

Instalaţii de măsurare a volumului şi debitului, instalaţii de analiză, nivelmetre, dispozitive electrice de măsurat, regulatoare electrice, dispozitive de măsurat manometrice, regulatoare fără energie auxiliară, instalaţii pneumatice de măsurat, de comandă şi de reglare, contoare şi generatoare de impuls.

Acestea reprezintă doar o parte din oferta generală de instalaţii şi aparate electronice şi electrotehnice din Republica Democrată Germană. De peste 20 de ani reprezentăm această industrie puternică pe piaţa mondială.

Informaţii se pot obţine prin :
Biroul tehnic-comercial al
AHB Elektrotechnik de pe lîngă HPA
a ambasadei R.D.G. în R.S.R.
Calea Dorobanţilor 14
Bucureşti

Elektrotechnik

EXPORT-IMPORT

VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER
DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 102 BERLIN · ALEXANDERPLATZ
HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE

MŰSZAKI KÖNYVTÁR KÖZPONTI HIVATALA

MICM—CIETV

Fabrica de Aparate Electronice de Măsură și Industriale

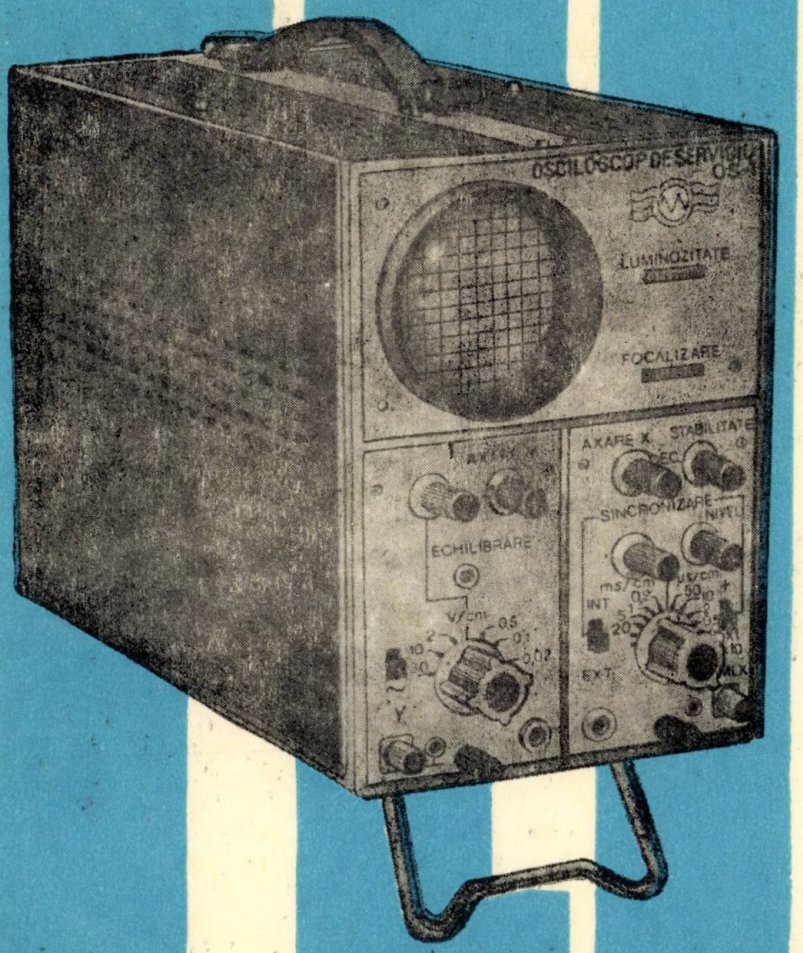
București, Sectorul 2, Șos. Fabricii de Glucoză, Nr 9-11,
Cont 30.06.05.00 BNRSR - Filiala Sector 2, București
Telefon: 33.77 49, 33.78.14

Execută :

Osciloscop de serviciu (OS-1)

Aparatul este destinat vizualizării semnalelor electrice al căror spectru de frecvență nu depășește 5 MHz

Aparatul conține: blocul de alimentare pentru joasă și înaltă tensiune, blocul amplificator vertical precum și blocul amplificator orizontal cu generatorul de baleiaj



- dimensiunile imaginii: min. 40 x 60 mm
- diametrul minim al spotului: 1mm, în cadrul de 40 x 60mm
- impedanța de intrare: 1 Mohm / 50 pF
- tensiunea maximă admisă la intrare: 250 Vc a
- tensiunea de alimentare: 220 V — 50 Hz
- domeniul temperaturilor de lucru: + 10°C — + 35°C
- dimensiuni de gabarit: 255x 170 x 389 mm
- greutate: 11 kg

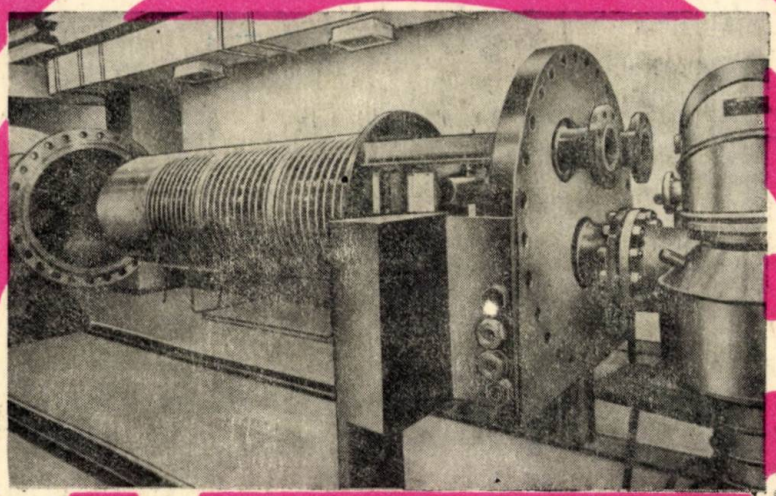
Și următoarele alte produse:

- generatorul de ultrasunete pentru curățire (GUS-1)
- releu tranzistorizat de protecție minieră (RSR-2)
- sursă de tensiune reglabilă (STR-404)
- umidometru electronic (T 1)
- vibrometru portabil tranzistorizat (VP-3)
- sursă 1000 VA
- generator de inaltă frecvență (GIF) capacitiv 1,5kW
- generator de inaltă frecvență (GIF) inductiv 5 kW
- hupă electronică

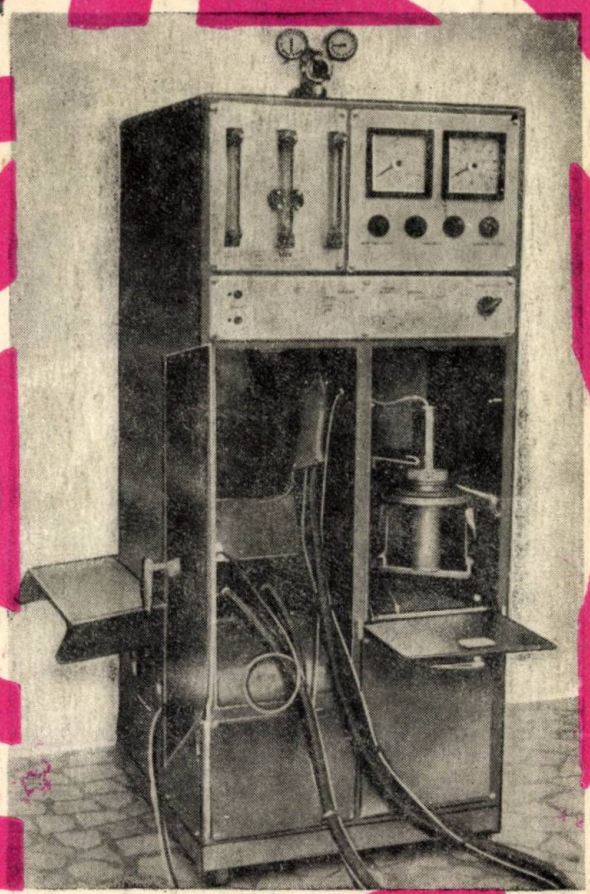
INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I

1973 MAI 3 0



ICPE



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive !

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine !

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dvs., doriți standuri și metode de încercări care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele !

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite ?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

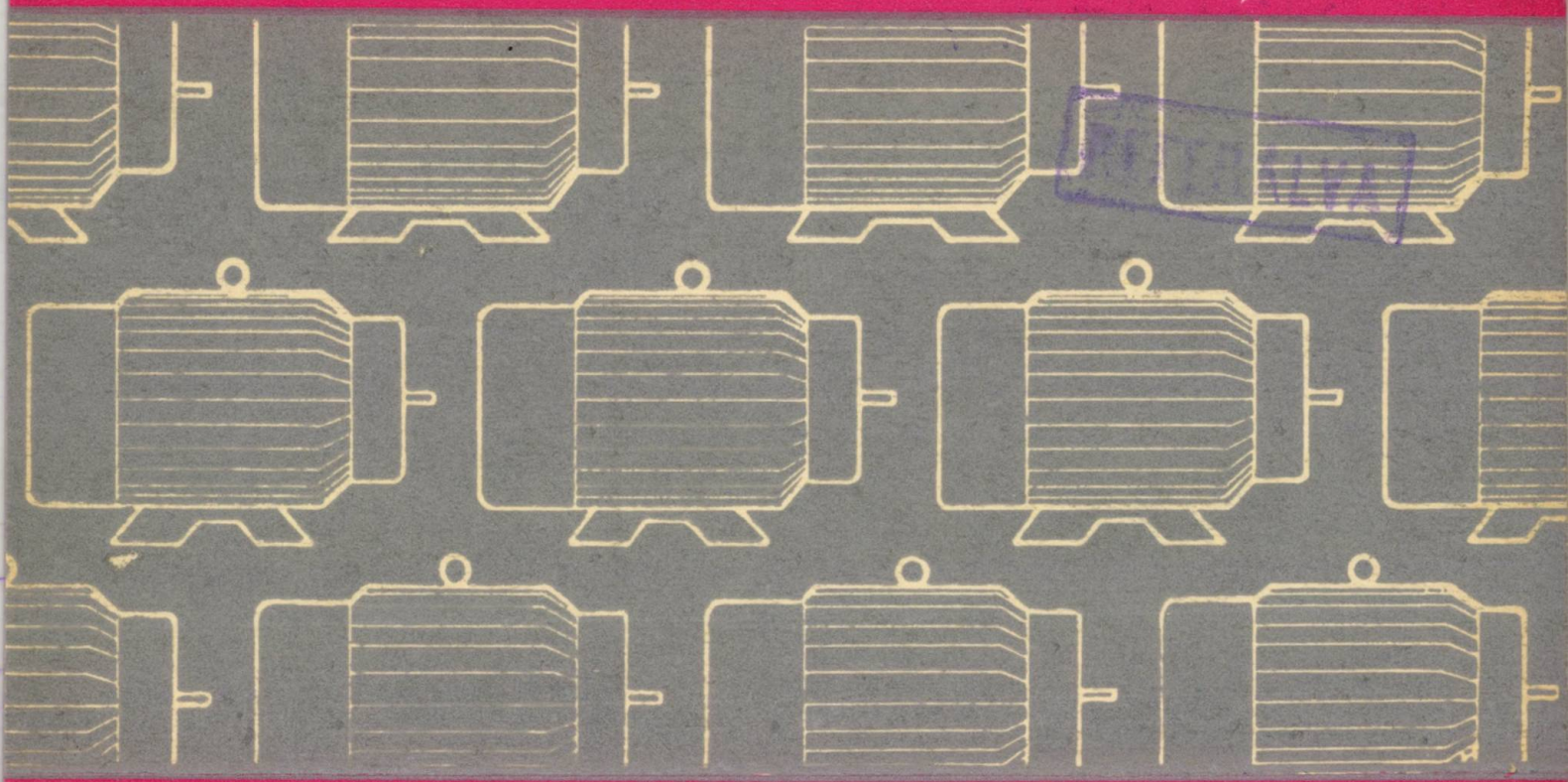
Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 ani în activitate care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

Telefonați la : 31.41.00

BUCUREȘTI BD. T. VLADIMIRESCU Nr. 45–47 Telefon : 31.41.00

E 2040

ELECTROTEHNICA



ELECTROTEHNICA ● BUCUREŞTI ● ANUL 21 ● Nr. 2 ● FEBRUARIE 1973

2

INTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

BUCUREŞTI II — ROMANIA
Str. Erou Iancu Nicolae nr.32
Telefon 33.38.30 Telex 011.203

REZISTOARE
— cu peliculă de carbon
— bobinate

TERMISTOARE CERAMICE
— disc
— în capsulă

CONDENSATOARE
— polistiren (tip styroflex)
— poliester metalizat
— hîrtie metalizată
— hîrtie echipament auto
— hîrtie antiparazitare
— hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
— normale
— miniatură
— nepolarizate

CONDENSATOARE CERAMICE
— disc
— tubulare
— plachetă
— ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

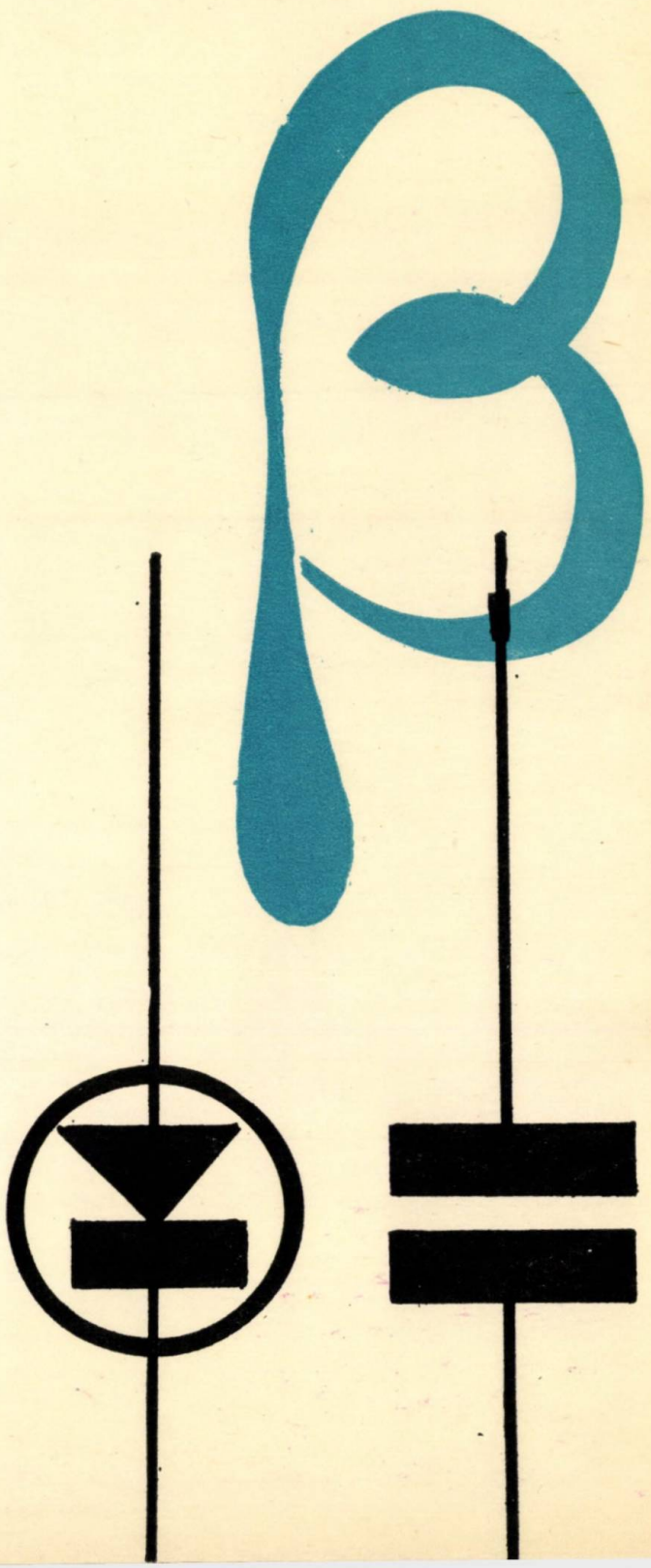
TRANZISTOARE

— de joasă frecvenţă
— de înaltă frecvenţă şi comutaţie
— de putere

DIODE

— de semnal şi comutaţie
— redresoare
— redresoare pentru curenţi mari
— stabilizatoare de tensiune
— de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE



T.P.R.S. Băneasa

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 2, pag. 49 — 88 februarie 1973

CUPRINS

CZ 621.313,333.2.014.32

Andrei Radu : **Forțe normale și tangențiale la motorul asincron liniar de mare viteză.**

Electrotehnica 21, nr. 2, feb 1973, p 49—55

În ultima vreme motorul asincron liniar de mare viteză s-a impus în tracțiunea electrică devenind la ora actuală industrial. O mare importanță la acest tip de motor o are pe lîngă cunoașterea forței de tracțiune, și determinarea forței normale care acționează pe suprafața celor două armături ale inductorului. Această forță normală devine importantă la motoarele de putere mare, de mărimea ei trebuind să se țină seama la dimensionarea sistemului mecanic care menține cele două armături ale mașinii față în față.

În lucrarea de față se face calculul acestei forțe, plecînd de la ecuațiile cîmpului electromagnetic scrise pentru zona întrefierului. Modelul fizic adoptat este foarte apropiat de cazul real constructiv, al acestui motor. Rezultatele obținute sînt interpretate din punct de vedere al însemnătății lor practice, trăgîndu-se concluzii în ceea ce privește alegerea parametrilor caracteristici ai unei astfel de mașini.

CZ 621.314.263

Ghiță Constantin: **Asupra calculului analitic al dublorului feromagnetic de frecvență.**

Electrotehnica 21, nr. 2, feb 1973, p. 56—62

Se calculează caracteristicile externe ale dublorului feromagnetic de frecvență monofazat, pentru două moduri de aproximare a caracteristicii magnetice a miezurilor: printr-o funcție exponențială și prin funcțiunea sinus hiperbolic.

CZ 621.315.622—742 : 621.317.331

Vascan, Th., Tendler, M., Maricaru, M. și *Rucinschi, D.* : **Încercări artificiale privind comportarea izolatoarelor poluate.**

Electrotehnica 21, nr. 2, feb 1973, p. 63—74

Se prezintă încercările la poluare artificială prin metoda ceții saline asupra unor izolatoare de suspensie pentru 110 kV și aprecieri comparative privind comportarea lor la poluare de tip electrolitic. Ordinea de merit astfel stabilită este confirmată, în general, și de rezultatele încercărilor combinate pe izolatoare expuse în exploatare. Se fac considerații asupra eficacității unsorilor de protecție a izolatoarelor.

CZ 621.317.72.015.33 : 621.316.57.064.31

Hortopan, Gh. **Performanțele divizorului de tensiune mixt, serie R — C.**

Electrotehnica 21, nr. 2, feb 1973, p. 74—79

Plecînd de la ideea de a realiza un divizor de tensiune apt pentru măsurarea tensiunii arcului electric și a tensiunii oscilante de restabilire, la încercarea aparatelor de comutație, se analizează performanțele divizorului de tensiune mixt serie R.C. Se prezintă astfel răspunsul la excitația treaptă și caracteristica de frecvență pentru patru variante de scheme. Banda de frecvență intrinsecă a divizorului este cuprinsă între 1 Hz și 4Mz.

CZ 621 : 382.3Ge : 537.311.33

Poenaru, D. N.: **Aproximări ale relației viteză — cîmp electric pentru purtători de sarcină în detectoare coaxiale Ge (Li).**

Electrotehnica 21, nr. 2, feb 1973, p. 80—85

Se propun două expresii analitice simple de aproximare a dependenței vitezei purtătorilor de sarcină de intensitatea cîmpului electric, care permit să se calculeze forma impulsurilor electrice furnizate de detectoare coaxiale Ge (Li) ca răspuns la radiații nucleare.

Recenzii 86
Referate 87

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LĂZĂRIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director: 14.62.67. Redacția: București, str. Mândinești nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacție: 13.90..87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 2159. *Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr. 137/10078/1972*

41 400

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI-UNELTE ȘI ELECTROTEHNICII ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ȘI PUBLICAȚII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 nr. 2 București, februarie 1973

Forțe normale și tangențiale la motorul asincron liniar de mare viteză

RADU ANDREI* — București

CZ 621.313.333.2.014.32

Motorul asincron liniar de mare viteză folosit mai ales în tracțiunea electrică monorail se caracterizează printr-un întrefier mare. Valoarea acestuia este impusă de grosimea relativ mare a șinei și într-o mai mică măsură de condiția ca motorul liniar să se poată înscrie pe raza de curbură minimă a traseului. Grosimea mare a șinei nu este dictată de considerente electrice ci de motive de natură mecanică. În secțiune transversală indusul se prezintă de obicei ca în figura 1 (aerotrenul francez), grosimea efectivă conductoare a celor doi pereți laterali fiind foarte mică în raport cu cea a întrefierului. Cu titlu informativ la un întrefier de 8—10 cm, grosimea șinei atinge valori între 7—8 cm iar cea a celor doi pereți conductori valori de 1—2,5 cm [7], [8]. Cu alte cuvinte, indusul** la o astfel de mașină poate fi considerat, în raport cu întrefierul, de grosime neglijabilă, iar densitatea de curent constantă pe direcția axei z a acestuia (fig. 2).

Ținînd seama de aceste observații vom determina forța de tracțiune și forța normală pe direcția mișcării, considerînd grosimea indusului neglijabilă în raport cu cea a întrefierului.

În literatură [3], [4] această problemă a forțelor normale pe direcția de mișcare este tratată mai ales pentru cazul indusului de grosime mare, în care situație se ia în considerație și distribuția după axa z a densității de curent din acesta. Rezultatele destul de greoaie obținute în acest caz își au aplicație în special la calculul pompelor electromagnetice. În alte lucrări [2] deși se calculează repartiția cîmpului în întrefierul unei mașini cu grosimea indusului mare, calculul forțelor normale nu se face.

În lucrarea de față, pe baza unui model fizic relativ simplu al mașinii, dar care este totuși apropiat de cazul real, și în cadrul unor ipoteze simplificatoare uzuale, se vor deduce forțele normală și tangențială dezvoltate de un astfel de motor. Ulterior, pe baza anumitor observații, vom aduce modificări relațiilor deduse în baza ipotezelor adoptate, modificări ce vor ține seama de efectul de stingere al cîmpului la muchia de intrare [6], important la viteze mari, și de mărirea rezistenței indusului datorită curbării liniilor de curent [5]. În acest fel se obține pentru forța normală o expresie de calcul destul de simplă care pune în evidență foarte bine influența diverșilor parametri ai mașinii asupra mărimii acesteia.

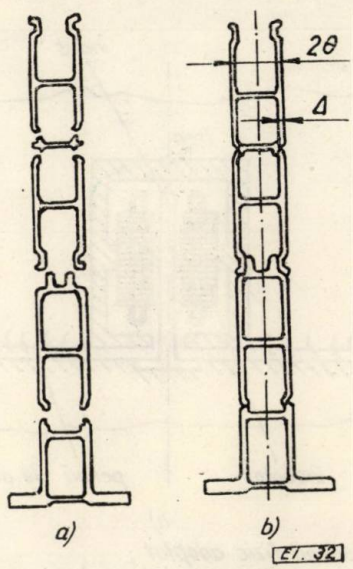


Fig. 1. Structura indusului la un tren echipat cu motor liniar.

Modelul fizic și ipoteze simplificatoare adoptate

Vom considera situația prezentată în figura 2 a în care indusul de grosime Δ este situat pe mijlocul întrefierului.

*Ing. R. Andrei este asistent la catedra de mașini electrice din I. P. B.

** Prin grosimea indusului vom înțelege grosimea celor doi pereți laterali ai șinei, iar prin grosimea șinei cota de gabarit a căii pe direcția axei z.

Simetria axială a mașinii din acest caz ne va permite să studiem fenomenele numai în semiplanul $z > 0$. Inductorul îl considerăm deocamdată foarte lung în așa fel încît efectul de capăt nu intervine. Ulterior valorile forțelor obținute vor fi multiplicate cu un coeficient ce a fost dedus în situația în care acest fenomen este luat în considerație [6]. În ceea ce privește indusul, grosimea Δ a acestuia o vom considera infinit mică atunci cînd vom pune condițiile pe frontieră în determinarea expresiei cîmpului electromagnetic. Totodată liniile de curent indus le vom considera inițial orientate în lungul axei y (problemă plan paralelă). Luarea în considerație a curburii acestora o vom face

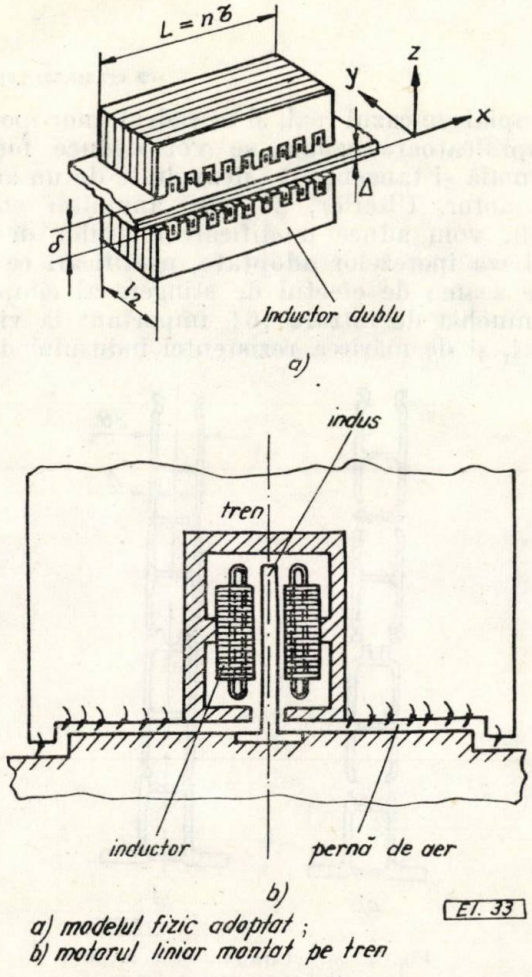


Fig. 2

ulterior prin introducerea coeficientului K_r de mărire a rezistenței indusului [5]. Trebuie remarcat faptul că acest coeficient este apropiat de 1 la motoarele liniare de viteză mică, unde pasul polar τ este de 2—3 ori mai mic ca lățimea l_2 a mașinii. La motoarele liniare de mare viteză, unde τ depășește 1 m, lățimea mașinii este de același ordin cu acesta. Aceasta, deoarece din considerente mecanice înălțimea șinei variază între 0,6—1,2 m. În aceste condiții, coeficientul K_r de mărire a rezistenței indusului atinge valori de 2—2,5, influențînd mult comportarea mașinii.

Solenația inductoare o vom presupune de forma unei pînze de curent cu repartiție sinusoidală în timp și spațiu, avînd amplitudinea A_{1y}.

Permeabilitatea magnetică a fierului $\mu_{Fe} = \infty$.

Calculul cîmpului din întrefierul mașinii

Fie a_{1y} unda densității liniare a solenației inductoare avînd o distribuție sinusoidală cu perioada spațială 2τ și care se deplasează cu viteza de sincronism $v_1 = \frac{\omega_1}{\beta}$ în direcția pozitivă a axei x :

$$a_{1y} = A_{1y} \cdot \sin \beta (x - v_1 t); \quad \beta = \frac{\pi}{\tau}. \tag{1}$$

Menționăm faptul că raționamentele sînt făcute luînd în considerație semiplanul $z > 0$ și deci a_{1y} este produs numai de armătura superioară a inductorului.

Vom utiliza calculul în complex nesimplificat considerînd densitatea liniară a solenației inductoare ca mărime de referință :

$$a_{1y} = A_{1y} \cdot e^{j\beta(x - v_1 t)}; \quad a_{1y} = \mathrm{Im}\,(\underline{a}_{1y}). \tag{2}$$

Expresia în complex a cîmpului magnetic din întrefier, ținînd seama de faptul că problema este plan paralelă este :

$$\vec{\underline{h}}(x,z) = \vec{i} \cdot \underline{h}_x(x,z) + \vec{k} \cdot \underline{h}_z(x,z). \tag{3}$$

Pentru zona întrefierului $z \in \left(\frac{\Delta}{2}, \frac{\delta}{2}\right)$ ecuațiile Maxwell duc la următoarele relații :

$$\begin{aligned} \nabla (\mu_0 \cdot \vec{\underline{h}}) = 0 \rightarrow \frac{\partial \underline{h}_x}{\partial x} + \frac{\partial \underline{h}_z}{\partial z} = 0 \\ \nabla \times (\mu_0 \cdot \vec{\underline{h}}) = 0 \rightarrow \frac{\partial \underline{h}_x}{\partial z} - \frac{\partial \underline{h}_z}{\partial x} = 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Prin derivare succesivă a celor două expresii (4) în raport cu x și z, se deduc cu ușurință ecuațiile de tip Laplace a căror rezolvare duce la determinarea celor două componente ale cîmpului.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \underline{h}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \underline{h}_x}{\partial z^2} = 0 \\ \frac{\partial^2 \underline{h}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \underline{h}_z}{\partial z^2} = 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Ţinînd seama de faptul că a_{1y} are expresia (1), soluţiile celor două ecuaţii (5) vor fi de forma :

$$\begin{aligned} \underline{h}_x(x,z) &= (\underline{A}\cdot sh\,\beta z + \underline{B}\cdot ch\,\beta z)\cdot e^{j\beta(x-v_1t)} \\ \underline{h}_z(x,z) &= (\underline{C}\cdot \mathrm{sh}\,\beta z + \underline{D}\cdot \mathrm{ch}\,\beta z)\cdot e^{j\beta(x-v_1t)} \end{aligned} \tag{6}$$

Constantele $\underline{A}$, $\underline{B}$, $\underline{C}$ şi $\underline{D}$ nu sînt independente între ele avînd în vedere faptul că h_x şi h_z trebuie să satisfacă cele două relaţii (4). Rezultă :

$$\underline{C} = \mathrm{j}\underline{B}\,;\quad \underline{D} = -\,\mathrm{j}\underline{A} \tag{7}$$

iar cele două expresii (6) devin :

$$\begin{aligned} \underline{h}_x(x,\ z) &= (A\cdot \mathrm{sh}\beta z + B\cdot \mathrm{ch}\beta z)\cdot e^{j\,\beta(x-b_1t)} \\ \underline{h}_z(x,\ z) &= -\,\mathrm{j}\,(B\cdot \mathrm{sh}\beta z + \underline{A}\ \mathrm{ch}\beta z)\cdot e^{j\,\beta(x\,-\,v_1t)} \end{aligned} \tag{6'}$$

Cele două constante $\underline{A}$ şi $\underline{B}$ vor fi determinate din condiţiile pe frontieră :

1) la $z = \dfrac{\delta}{2}$:

$$\Delta_s \times \vec{\underline{h}} = \vec{\mathrm{j}}\cdot\underline{a}_{1y} \tag{8}$$

sau :

$$\underline{h}\,(x,z)/_{z=\frac{\delta}{2}} = \underline{a}_{1y}\,(x). \tag{8'}$$

Ţinînd seama de (8'), prima relaţia (6') devine :

$$\underline{A}\ \mathrm{sh}\beta\cdot\frac{\delta}{2} + \underline{B}\cdot\mathrm{ch}\beta\cdot\frac{\delta}{2} = A_{1y}\,; \tag{9}$$

2) la $z = 0$ (neglijăm grosimea Δ a indusului legile conducţiei electrice, circuitului magnetic şi inducţiei electromagnetice ne dau pe rînd :

— legea conducţiei electrice :

$$\underline{j}_{2y} = \frac{1}{\rho}\,\underline{E}_{2y}$$

sau :

$$\underline{a}_{2y} = \underline{j}_{2y}\cdot\Delta/_2 = \frac{1}{2\cdot\rho_s}\,\underline{E}_{2y} \tag{10}$$

unde :

a_{2y} este ½ din densitatea liniară a pînzei de circuit din indus, şi $\rho_s = \dfrac{\rho}{\Delta}$ — rezistivitatea de suprafaţă a indusului ;

— legea circuitului magnetic :

$$\Delta_s \times \vec{\underline{h}} = \vec{\underline{j}}\cdot\underline{a}_{2y}$$

sau :

$$\underline{h}_x\,(x,\,z)/_{z=0} = a_{2y}\,(x)\,; \tag{11}$$

— legea inducţiei electromagnetice :

$$\nabla\times[\vec{\underline{E}}_2 - \vec{v}_2\times(\mu_0\cdot\vec{\underline{h}})] = -\,\mu_0\cdot\frac{\partial\vec{\underline{h}}}{\partial t} \tag{12}$$

Ţinînd seama că :

$$\begin{aligned} \vec{\underline{E}}_2 &= \vec{j}\ \underline{E}_2 \\ \vec{v}_2 &= \vec{i}\,.\,v_2 \\ \vec{\underline{h}} &= \vec{i}\ \underline{h}_x + \vec{K}\cdot\underline{h}_z \end{aligned} \tag{13}$$

iar t.e.m. de transformare este dată numai de componenta h_z a cîmpului din întrefier, relaţia (12) devine :

$$\frac{\partial}{\partial x}\,(\underline{E}_2 + v_2\cdot\mu_0\underline{h}_z) = \mu_0\cdot\frac{\partial\underline{h}_z}{\partial t} \tag{12'}$$

Din (10), (11) şi (12') rezultă :

$$\frac{\partial}{\partial x}(2\cdot\rho_s\cdot\underline{h}_x\cdot + v_2\cdot\mu_0\cdot\underline{h}_z\cdot) = \mathrm{j}\omega_1\mu_0\cdot\underline{h}_z. \tag{14}$$

În această ultimă relaţie, vom substitui pe $\underline{h}_x$ şi $\underline{h}_z$ date de (6') în care am făcut în prealabil $z = 0$. Se obţine în acest fel cea de a doua ecuaţie necesară determinării constantelor $\underline{A}$ şi $\underline{B}$:

$$2j\cdot\rho_s\cdot\beta\cdot\underline{B} + \mathrm{j}v_2\cdot\mu_0\cdot\beta(-\mathrm{j}\underline{A}) = \mathrm{j}\omega_1\mu_0\ \ (-\mathrm{j}\underline{A})$$

sau :

$$\underline{B} = -\,j\frac{\mu_0}{2\cdot\rho_s}\cdot sv_1\,\underline{A} \tag{15}$$

unde am notat :

$s = v_1 - v_2/v_1$ — alunecarea maşinii ;

$v_1 = \dfrac{\omega_1}{\pi}\tau$ — viteza sincronă.

Din (9) şi (15) rezultă : -

$$\underline{A} = \frac{1}{\mathrm{sh}\beta\cdot\dfrac{\delta}{2} - \mathrm{j}s\cdot R\ \mathrm{ch}\ \beta\dfrac{\delta}{2}}\cdot A_{1y} \tag{16}$$

$$\underline{B} = \frac{-\,\mathrm{j}sR}{\mathrm{sh}\beta\cdot\dfrac{\delta}{2} - j\cdot s\cdot R\cdot\mathrm{ch}\beta\dfrac{\delta}{2}}\cdot A_{1y},$$

unde :

$$R = \frac{\mu_0}{2\delta_s}\cdot v_1 = \beta\cdot\frac{\delta}{2}\cdot\omega_1 T = \beta\cdot\frac{\delta}{2}\cdot G\,; \tag{17}$$

$T = \dfrac{\tau^2\cdot\mu_0\Delta}{\pi^2\cdot\delta\cdot\rho}$ — constanta de timp a maşinii [6] ;

$G = \omega_1 T$ — factorul de calitate al maşinii [1], [5], [6].

În aceste relaţii R poate fi modificat prin luarea în consideraţie a curburii liniilor de curent din indus :

$$R = \frac{\mu_0 \cdot v_1}{2 K_r \cdot \rho_s} \tag{17'}$$

unde conform lui [5] coeficientul K_r este dat de :

$$K_r = 1 + \frac{\rho_1}{\zeta} \frac{1}{\left[\operatorname{ch}\zeta_1 - \frac{1}{\zeta_1} + \operatorname{th}\,(\zeta_2 - \zeta_1) \right]} \tag{18}$$

$$\zeta_1 = \beta \frac{l_1}{2}; \qquad \zeta_2 = \beta \cdot \frac{l_2}{2},$$

l_1 şi l_2 fiind lăţimea indusului respectiv a inductorului.

O dată determinate constantele $\underline{A}$ şi $\underline{B}$ se poate trece la calculul celor două componente ale cîmpului din întrefier :

$$\underline{h}_x = \frac{\operatorname{sh}\,\beta \cdot z - \mathrm{j} s R \cdot \operatorname{ch}\beta z}{\operatorname{sh}\beta \frac{\delta}{2} - \mathrm{j} s R \operatorname{ch}\beta \frac{\delta}{2}} \cdot a_{1y} \tag{19}$$

$$\underline{h}_z = -\frac{s \cdot R \cdot \operatorname{sh}\beta z + \mathrm{j} \operatorname{ch}\beta z}{\operatorname{sh}\beta \frac{\delta}{2} - \mathrm{j} s R \operatorname{ch}\beta \frac{\delta}{2}} \cdot a_{1y}.$$

Dacă trecem la valorile în real obţinem :

$$h_x(x, z, t) = \operatorname{Im}(\underline{h}_x) = H_{xd}(z) \cdot \sin(\beta x - \omega_1 t) + H_{xq}(z) \cdot \cos(\beta x - \omega_1 t)$$

unde :

$$H_{xd}(z) = \frac{\operatorname{sh}\beta \frac{\delta}{2} \cdot \operatorname{sh}\beta z + s^2 R^2 \cdot \operatorname{ch}\beta \frac{\delta}{2} \operatorname{ch}\beta z}{\operatorname{sh}^2 \beta \frac{\delta}{2} + s^2 R^2 \operatorname{ch}^2 \beta \frac{\delta}{2}} \cdot A_{1y} \tag{20}$$

$$H_{xq}(z) = -\frac{s R \cdot \operatorname{sh}\beta\left(\frac{\delta}{2} - z\right)}{\operatorname{sh}^2 \beta \frac{\delta}{2} + s^2 R^2 \cdot \operatorname{ch}^2 \beta \frac{\delta}{2}} \cdot A_{1y}$$

sau :

$$h_x(x, z, t) = H_x(z) \cdot \sin(\beta x - \omega_1 t - \varphi x)$$

unde :

$$H_x(z) = \sqrt{H_{xd}^2 + H_{xq}^2} \tag{20'}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_x = -\frac{H_{xq}}{H_{xd}}.$$

Pentru componenta cîmpului în direcţia axei z avem :

$$h_z(x, z, t) = \operatorname{Im}(h_z) = H_{zd}(z) \cdot \sin(\beta x - \omega_1)t + H_{zq}(x) \cdot \cos(\beta x - \omega_1 t)$$

unde :

$$H_{zd}(z) = \frac{s \cdot R \cdot \operatorname{ch}\beta\left(\frac{\delta}{2} - z\right)}{\operatorname{sh}^2 \beta \frac{\delta}{2} + s^2 R^2 \cdot \operatorname{ch}^2 \beta \frac{\delta}{2}} \cdot A_{1y} \tag{21}$$

$$H_{zq}(z) = -\frac{\operatorname{sh}\beta \frac{\delta}{2} \cdot \operatorname{ch}\beta z + s^2 R^2 \cdot \operatorname{ch}\beta \frac{\delta}{2} \cdot \operatorname{sh}\beta z}{\operatorname{sh}^2 \beta \frac{\delta}{2} + s^2 R^2 \cdot \operatorname{ch}^2 \beta \frac{\delta}{2}} \cdot A_{1y}$$

sau :

$$h_z(x, z, t) = H_z(z) \cdot \sin(\beta x - \omega_1 t - \varphi_z)$$

unde :

$$H_z(z)) = \sqrt{H_{zd}^2 + H_{zq}^2}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_z = -\frac{H_{zq}}{H_{zd}}. \tag{21'}$$

Relaţiile (19), (20) şi (21) pot fi simplificate în vederea calculelor dacă se ţine seama de faptul că mărimea $\beta \cdot \frac{\delta}{2}$ variază în limitele 0,1 — 0,25 pentru valorile uzuale ale lui δ şi τ. În această situaţie :

$$\operatorname{ch}\beta \frac{\delta}{2} \cong \operatorname{ch}\beta\left(\frac{\delta}{2} - z\right) \cong \operatorname{ch}\beta z \cong 1 \text{ pentru } : 0 < z < \frac{\delta}{2}$$

$$\operatorname{sh}\beta \frac{\delta}{2} \cong \beta \frac{\delta}{2}$$

$$\operatorname{sh}\beta\left(\frac{\delta}{2} - z\right) \cong \beta\left(\frac{\delta}{2} - z\right) \tag{22}$$

$$\operatorname{sh}\beta z \cong \beta z.$$

Cu această observaţie relaţiile amintite devin :

$$H_{xd}(z) \cong \frac{\beta^2 \frac{\delta}{2} \cdot z + s^2 R^2}{\beta^2 \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + s^2 R^2} \cdot A_{1y} \cong A_{1y} \tag{20''}$$

$$H_{xq}(z) \cong \frac{s R \beta\left(\frac{\delta}{2} - z\right)}{\beta^2 \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + s^2 R^2} \cdot A_{1y}$$

$$H_{zd}(z) \cong \frac{s \cdot R}{\beta^2\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + s^2 R_2} \cdot A_{1y} \approx \frac{1}{sR} \cdot A_{1y} \qquad (21'')$$

$$H_{zq}(z) \cong \frac{\beta\,(s^2\,R^2 - 1)\left(\frac{\delta}{2} - z\right)}{\beta^2\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + s^2\,R^2} \cdot A_{1y} \approx$$

$$\approx \frac{s^2R^2 - 1}{s^2\,R^2} \cdot \beta\left(\frac{\delta}{2} - z\right) \cdot A_{1y}.$$

În baza aproximațiilor făcute se observă că H_{xd} și H_{zd}, adică componentele cîmpului în fază cu solenația inductoare, nu variază pe înălțimea întrefierului pe cînd H_{xq} și H_{zq} au o variație liniară, fiind maxime la $z = 0$ (pe axa întrefierului) și egale cu zero la $z = \frac{\delta}{2}$ (lîngă inductor).

Calculul forțelor electromagnetice

Expresia tensorului tensiunii maxwelliene ce se exercită asupra unității de suprafață a indusului este :

$$\vec{T}_m = \mathrm{Re}\left[\vec{\underline{h}}\,(\mu_0\,\vec{\underline{h}}^* \cdot \vec{k}) - \vec{k}\,\frac{\mu_0\,\vec{\underline{h}} \cdot \vec{\underline{h}}^*}{2}\right] \qquad (23)$$

sau ținînd seama de componentele lui $\vec{h}$:

$$\vec{T}_m = \mu_0 \cdot \mathrm{Re}\left[\vec{i} \cdot \underline{h}_x \cdot \underline{h}_z^* + \frac{1}{2}\vec{k}(\underline{h}_z \cdot \underline{h}_z^* - \underline{h}_x \cdot \underline{h}_x^*)\right]. \qquad (23')$$

Deci $\vec{T}_m$ are două componente :

$$T_{mx} = \mu_0 \cdot \mathrm{Re}\,(\underline{h}_x \cdot \underline{h}_z^*)$$

$$T_{mz} = \frac{\mu_0}{2} \cdot \mathrm{Re}\,(\underline{h}_z \cdot \underline{h}_z^* - \underline{h}_x \cdot \underline{h}_x^*) \qquad (24)$$

În expresiile (23'), (24) componentele cîmpului trebuie înlocuite cu valorile lor la coordonata z = 0.

Forța de tracțiune medie pe lungimea unui pas polar și pentru unitatea de lățime a mașinii este :

$$F_x/l_2 = \frac{1}{2}\int_0^\tau T_{mx} \cdot dx =$$

$$= \frac{\tau \cdot \mu_0}{2} \cdot \frac{s \cdot R}{\mathrm{sh}^2\beta\frac{\delta}{2} + s^2R^2\mathrm{ch}^2\beta\frac{\delta}{2}} \cdot A_{1y}^2. \qquad (25)$$

Forța normală medie tot pe lungimea unui pas polar și pentru unitatea de lățime a mașinii rezultă :

$$F_z/l_2 = \frac{1}{2}\int_0^\tau T_{mz} \cdot dx =$$

$$= \frac{\tau \cdot \mu_0}{4} \cdot \frac{1 - s^2R^2}{\mathrm{sh}^2\beta\frac{\delta}{2} + s^2R^2 \cdot \mathrm{ch}^2\beta\frac{\delta}{2}} \cdot A_{1y}^2. \qquad (26)$$

Relația (25), dacă se are în vedere (22), nu se deosebește cu nimic de cea obținută pentru o mașină rotativă clasică sau cea dedusă în cazul servomotorului asincron bifazat cu rotorul în formă de pahar [5].

O relație exact de aceeași formă a fost obținută pentru forța de tracțiune și în [6], numai că acolo fenomenul de margine de intrare făcea ca expresia (25) să fie înmulțită cu un factor subunitar dat de următoarea relație :

$$K_i = 1 - \frac{1 - s}{n \cdot \pi \cdot s} \cdot e^{-\frac{n\pi}{(1-s)R} \cdot \beta\frac{\delta}{2}} \cdot \left|\sin\frac{sn\pi}{1 - s}\right|. \qquad (27)$$

Valoarea acestui factor K_i este foarte apropiată de 1 la mașinile de viteză mică unde τ și T au valori relativ mici. La viteze mari K_i diferă sensibil de unitate.

În concluzie relațiile (25) respectiv (26) trebuie multiplicate cu acest factor subunitar K_i cînd este vorba de motoare liniare de mare viteză.

În figura 3 *a* și *b* sînt trasate variațiile mărimilor adimensionale care intervin în relațiile (25) și (26). Cele două mărimi adimensionale care le vom nota cu T_x respectiv T_z sînt :

$$T_x = \frac{sR}{2\left(\mathrm{sh}^2\beta\frac{\delta}{2} + s^2R^2 \cdot \mathrm{ch}^2\beta\frac{\delta}{2}\right)} \cdot K_i \cong$$

$$\cong \frac{sR}{2\left[\left(\beta\frac{\delta}{2}\right)^2 + s^2R^2\right]} \cdot K_i \qquad (28)$$

$$T_z = \frac{1 - s^2R^2}{4\left(\mathrm{sh}^2\beta\frac{\delta}{2} + s^2R^2 \cdot \mathrm{ch}^2\beta\frac{\delta}{2}\right)} \cdot K_i \cong$$

$$\cong \frac{1 - s^2R^2}{4\left[\left(\beta\frac{\delta}{2}\right)^2 + s^2R^2\right]} \cdot K_i. \qquad (29)$$

Așa după cum se vede din (26) sau (29) forța normală pe șină dezvoltată de motor este com-

pusă din doi termeni. Primul dintre ei corespunde forței de atracție, celălalt celei de respingere. Condiția ca forța normală de respingere să fie mai mare ca cea de atracție este :

$$R > {}^1/_s \,. \tag{30}$$

Dacă șina trece prin mijlocul întrefierului cei doi pereți laterali ai acesteia sînt supuși la o forță normală de apăsare medie în cazul că este îndeplinită relația (30). Această forță normală de apăsare medie pe unitatea de suprafață (presiunea) este dată de relația :

$$p_N \cong \frac{\mu_0}{2} A_{1y}^2 \cdot t_N \tag{31}$$

unde :

$$t_N = \frac{s^2R^2 - 1}{4\left[\beta^2\left(\frac{\delta - \theta}{2}\right)^2 + s^2R^2\right]} \cdot K_i .$$

Pentru valorile uzuale înregistrate ale parametrului $R (R = 10 \div 40)$ și alunecării $s = (0{,}05 - 0{,}2)$ coeficientul adimensional t_N este practic egal cu T_z, adică forța de presiune normală pe șină nu depinde de grosimea θ a acestuia.

Forța normală de apăsare care ia naștere pe fiecare armătură este :

$$F_N = l_1 \cdot n \cdot \tau \cdot p_N \cong \frac{\mu_0}{2} A_{1y}^2 \cdot l_1 \cdot \mathrm{n} \cdot \tau \cdot T_z \tag{32}$$

Concluzii

Rezultatele obținute și prezentate în lucrarea de față au fost deduse considerînd în mod aparte principalele fenomene care intervin în funcționarea motorului liniar. În acest fel s-a rezolvat o problemă de cîmp relativ simplă, iar rezultatelor obținute li s-au adus corecții. Aceste corecții țin seama de efectul măririi rezistenței indusului datorită curbării liniilor de curent (coeficientul K_r) și de modificarea cîmpului rezultant din întrefier în apropierea „marginii de intrare", (coeficientul K_i).

Acest mod de analiză este destul de frecvent utilizat în literatură [9], deoarece considerarea în mod simultan a tuturor aspectelor și fenomenelor care apar, ar duce la complicarea rezolvării unei anumite probleme. Mai mult, putem spune chiar că „prinderea" tuturor aspectelor unei anumite probleme în mod simultan în cadrul aceleiași teorii, este de multe ori imposibilă. Această imposibilitate poate privi atît deducerea ecuațiilor care descriu fenomenul respectiv cît și rezolvarea acestor ecuații.

Avînd în vedere rezultatele obținute putem trage cîteva concluzii importante.

— Din condiția de a avea o forță de tracțiune cît mai mare (T_x — maxim) la valorile uzuale ale alunecării s, se impune ca parametrul R să fie cuprins între 10 și 30.

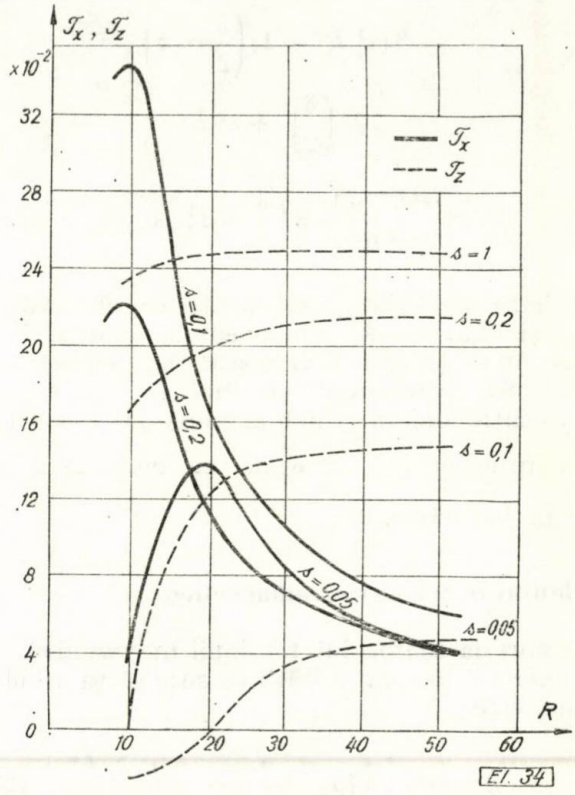


Fig. 3 *a*. Variația mărimilor adimensionale T_x și T_z funcție de parametrul R.

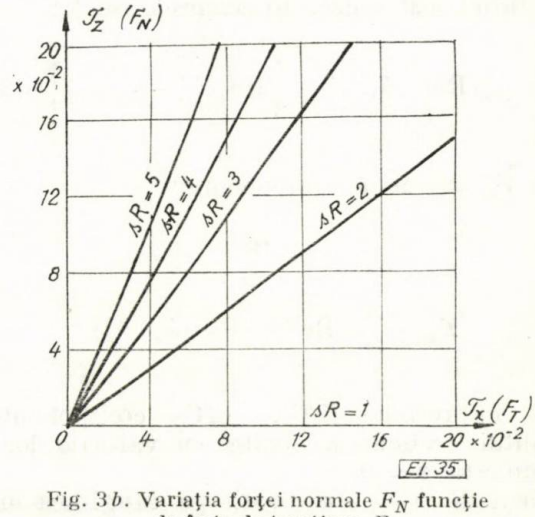


Fig. 3 *b*. Variația forței normale F_N funcție de forța de tracțiune F_T

— Avînd în vedere relația (17) în care viteza de sincronism v_1 este impusă înseamnă că parametrii din care se poate aranja valoarea optimă a lui R sînt δ, Δ și K_r.

— Tot din figura 3 a se observă că forța de presiune normală pe șină are o creștere sensibilă în domeniul de optim a lui R, fiind cu atît mai mare cu cît alunecarea crește.

Ca să ne facem o idee asupra mărimii forţei normale care acţionează asupra unei armături a indusului să considerăm $T_z \cong 12 \cdot 10^{-2}$ coresp-

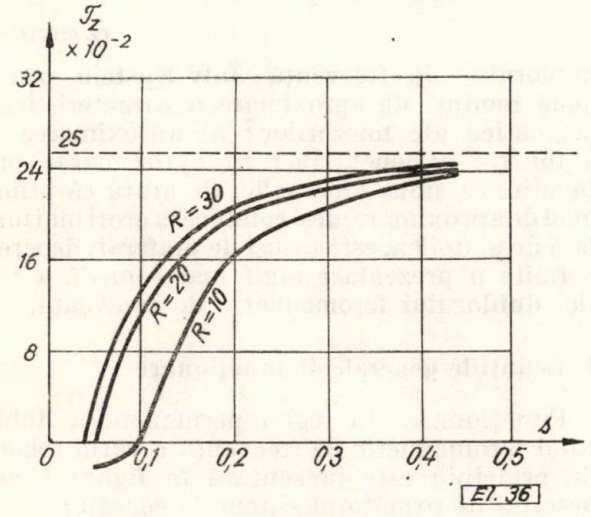


Fig. 4. Variaţia mărimii adimensionale T_z cu alunecarea s

punzător lui $s=0{,}1$ şi $R=20$. Presupunînd un motor liniar de putere mare cu $A_{1y}=\sqrt{2}.500$ A/cm; $l_2 = 0{,}8$ m (lăţimea inductorului); $n.\tau = 6$ m (lungimea inductorului, n fiind numărul de paşi polari τ) rezultă conform relaţiei (32) $F_N = 550$ kgf.

Figura 3 b arată că pentru o anumită alunecare şi un R dat forţa normală creşte direct proporţional cu cea de tracţiune. Adică la un motor liniar nu putem creşte forţa de tracţiune fără să o creştem şi pe cea normală, raportul dintre cele două forţe depinzînd de produsul $s.R$. Acest lucru se vede şi din relaţiile (28) (29) de unde se deduce:

$$T_z = \frac{1-s^2R^2}{2sR} \cdot T_x. \qquad (33)$$

La alunecări mici (s = 0,05) şi pentru valori în jur de 10 ale lui R, T_z devine negativ şi deci cele două armături ale inductorului vor fi supuse la forţe normale ce caută să le apropie de şină.

Din figura 3 a sau 4 se mai poate observa că la pornire ($s = 1$) forţa de apăsare normală este maximă avînd o valoare aproape independentă de R. La valoarea acestei forţe trebuie calculat sistemul mecanic de consolidare al celor două armături ale inductorului. De pildă pentru acelaşi exemplu numeric ales anterior forţa normală F_N de la alunecarea $s = 0{,}1$, creşte de peste două ori la pornire, devenind circa 1000 kgf.

În figura 4 curbele care arată variaţia $T_z=f(s)$ la $R=$ct. au fost obţinute prin intersecţia familiei de curbe $T_z = f(R)$ la $s =$ ct din figura 3 a cu drepte de ecuaţie $R =$ ct. Se remarcă faptul că variaţia forţei de apăsare normală funcţie de alunecare este aproximativ aceeaşi, independentă de R, pentru valori ale acesteia cuprinse între 20 şi 40.

Ca o ultimă observaţie semnalăm faptul că componenta tangenţială a cîmpului din întrefier, care se neglijează în teoria maşinilor clasice, este cea care alături de componenta normală asigură apariţia forţelor de tracţiune şi normală, sau altfel spus, face posibilă transmiterea energiei de la inductor la indus prin intermediul cîmpului din întrefier.

Bibliografie

[1] *Laithwaite, R. E.* Induction machines for special purposes London, Newnes, 1966.

[2] *Tsih C. Wang* Linear induction motor for high-speed ground transportation: În: I.E.E.E. Transaction on industry and general application, nr. 5, 1971, p. 632–642.

[3] *Herbert, Weh.* şi *Peter von Grumbkow.* Kraftwirkungen orthogonal zur Bevegungsrichtung beim asynchronen Linearmotor: În: E. T. Z seria A, nr. 1, 1972, p. 1–7.

[4] *Herbert, Weh.* Zum Betriebsverhalten electrodenloser M.H.D.–Wandler. În: ETZ seria A, 1964, p. 395.

[5] *Fransua, Al.* şi *Teodorescu, D.* Servomotoare electrice în sisteme automate. Bucureşti, Ed. Tehnică, 1966.

[6] *Andrei, R.* Determinarea repartiţiei cîmpului magnetic în întrefierul motorului liniar cu inductorul scurt şi conexiunea serie a bobinajului. În: Electrotehnica nr. 11, 1970, p. 417–425.

[7] *Manchefert-Tassin, Y.* Applications du moteur linéaire dans les transports. În: R.G.E., nr. 2, 1971, p. 121–134.

[8] *Ancel, I.* şi *Faure A.* Variantes d'exécution du moteur linéaire suivant les applications. În: R.G.E. nr. 2, 1971, p. 135–137.

[9] *Wiart, A.* Séparation des variables dans l'étude des courants de moteurs linéaires ou rotatifs à courants Foucault. În: R.G.E. nr. 1, 1971, p. 20–28.

Intrat în redacţie la 22.VII.1972

Asupra calculului analitic al dublorului feromagnetic de frecvenţă

CONSTANTIN GHIŢĂ* — Bucureşti

CZ 621.314.263

Unul dintre mijloacele cele mai răspîndite de obţinere a unor surse de alimentare cu energie electrică de frecvenţă superioară frecvenţei de 50 Hz este acela al folosirii multiplicatoarelor feromagnetice de frecvenţă. Printre aceste multiplicatoare de frecvenţă, un loc important îl ocupă dublorul feromagnetic de frecvenţă monofazat, alimentat în monofazat (fig. 1). Acest tip de dublor feromagnetic de frecvenţă, numit şi dublor Joly-Epstein, este întîlnit în instalaţiile de încălzire prin inducţie, în instalaţiile de electroeroziune, în instalaţiile de sudură ş.a. [1] — [3].

Calculul analitic al dublorului feromagnetic de frecvenţă nu este simplu deoarece caracteristicile magnetice ale miezurilor sale prezintă neliniarităţi pronunţate. În lucrările [1] — [4] se abordează problema calculului acestui tip de dublor aproximîndu-se caracteristica magnetică a unui miez prin două segmente de dreaptă, iar în lucrarea [5] se abordează problema calculului caracteristicii externe a dublorului feromagnetic de frecvenţă, aproximîndu-se caracteristica menţionată printr-un sinus hiperbolic.

O rezolvare inginerească suficient de precisă a problemei calculului dublorului feromagnetic de frecvenţă monofazat, alimentat în monofazat, este făcută în [6] prin metoda modelizării fizice.

În prezentul articol se discută comparativ rezolvarea analitică a problemei calculului dublorului de frecvenţă Joly-Epstein pentru două moduri de aproximare a caracteristicilor magnetice ale miezurilor: a) aproximarea cu o funcţie exponenţială; b) aproximarea prin funcţiunea sinus hiperbolic. Se arată că primul mod de aproximare, deşi conduce la erori mai mari faţă de al doilea, este totuşi de preferat, deoarece permite o prezentare mult mai comodă a teoriei dublorului feromagnetic de frecvenţă.

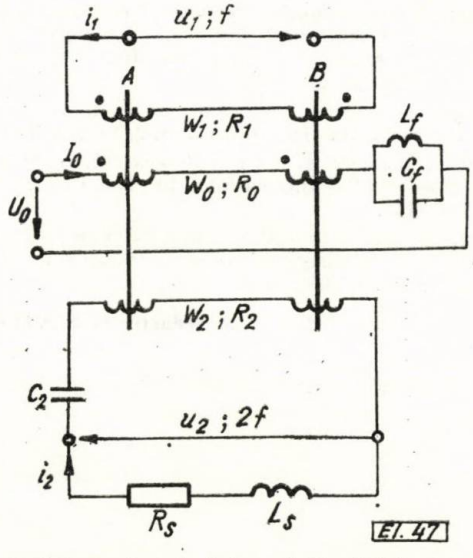


Fig. 1. Schema de principiu a dublorului feromagnetic de frecvenţă de tip Joly - Epstein.

1. Ecuaţiile generale de funcţionare

Funcţionarea în regim permanent a dublorului feromagnetic de frecvenţă a cărui schemă de principiu este prezentată în figura 1 este descrisă de următorul sistem de ecuaţii:

$$\begin{cases} -w_1 S_{Fe}\dfrac{d}{dt}(b_A - b_B) = 2R_1 i_1 - \sqrt{2}\,U_1 \cos \omega t \\ -w_2 S_{Fe}\dfrac{d}{dt}(b_A + b_B) = 2R_2 i_2 + \dfrac{1}{C_2}\int i_2\,dt + u_2 \\ u_2 = R_s i_2 + L_s\dfrac{di_2}{dt} + \dfrac{1}{C_s}\int i_2\,dt \\ U_0 = 2R_0 I_0 \\ b_A = F(h_A) \\ b_B = F(h_B) \\ w_1 i_1 + w_2 i_2 + w_0 I_0 = l_{Fe} h_A \\ -w_1 i_1 + w_2 i_2 + w_0 I_0 = l_{Fe} h_B \end{cases} \tag{1}$$

La scrierea acestor ecuaţii s-au neglijat fluxurile de dispersie, curenţii de deplasare dintre spirele bobinelor şi efectul pelicular; aceste neglijări sînt admise de obicei la frecvenţe sub 500 Hz. Sistemul (1) este compus din 8 ecuaţii simultane ce sînt suficiente pentru a determina cele 8 necunoscute: i_1, I_0, i_2, u_2, b_A, b_B, h_A, h_B care apar în componenţa lui.

Inducţiile magnetice rezultante din cele două miezuri A şi B au o variaţie în timp nesinusoidală.

Vom face ipoteza că armonicile de ordin superior mai mare ca doi sînt neglijabile. În acest caz, avînd în vedere că după o semiperioadă rolul miezului A este preluat de miezul B şi invers, se pot scrie relaţiile:

$$\begin{cases} b_A = B_0 + B_1 \sin(\omega t + \psi_1) + B_2 \sin(2\omega t + \psi_2) \\ b_B = B_0 - B_1 \sin(\omega t + \psi_1) + B_2 \sin(2\omega t + \psi_2). \end{cases} \tag{2}$$

* Ing. *C. Ghiţă* este asistent la Institutul politehnic din Bucureşti

Dacă se presupun expresiile inducțiilor magnetice rezultante din cele două miezuri de forma de mai sus se introduc trei necunoscute suplimentare așa încît numărul total de necunoscute este acum 11. Totuși pentru determinarea lor va fi nevoie în plus de o singură ecuație și nu de trei, deoarece valorile unghiurilor ψ_1 și ψ_2 se determină tot din primele două ecuații ale sistemului (1) dacă acestea se scriu pentru fiecare armonică în parte. Neglijînd căderile de tensiune rezistive, corespunzătoare armonicii fundamentale pe înfășurările primare ale dublorului, din compararea valorilor efective și a unghiurilor de defazaj corespunzătoare celor două sinusoide de frecvență fundamentală rezultate se obțin relațiile:

$$\begin{cases} B_1 = \dfrac{U_1}{\sqrt{2}\, S_{Fe}\, \omega\, w_1} \\ \psi_1 = 0. \end{cases} \tag{3}$$

În ipoteza neglijării inducției magnetice remanente, componenta continuă a cîmpului magnetic verifică următoarea relație:

$$l_{Fe} H_0 = \omega_0 I_0 \tag{4}$$

care reprezintă ecuația suplimentară necesară rezolvării complete a sistemului de ecuații (1) avînd în vedere și expresiile (2) ale inducțiilor b_A și b_B.

Rezolvarea acestui sistem se va face pentru două moduri de aproximare a caracteristicii magnetice $b = F(h)$ a unui miez: a) aproximarea printr-o funcție exponențială

$$h = \alpha_1 (e^{\beta_1 b} - 1); \tag{5}$$

b) aproximarea prin funcțiunea sinus hiperbolic

$$h = \alpha_2 \operatorname{sh} \beta_2 b. \tag{6}$$

În final, după rezolvarea sistemului de ecuații (1), se vor determina caracteristicile externe ale dublorului cînd se consideră ca parametri tensiunea de alimentare U_1 și curentul din circuitul de premagnetizare I_0.

2. Aproximarea caracteristicii magnetice cu o funcție exponențială

a) Stabilirea expresiilor cîmpurilor magnetice rezultante.

Folosind formula cunoscută [7]:

$$e^{x \sin \omega t} = J_0(jx) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(jx) \cos 2k\omega t - 2j \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(jx) \sin (2k+1)\omega t \tag{7}$$

și neglijînd armonicile superioare ordinului trei, cu ajutorul relațiilor (2) și (5) se obțin expresiile cîmpurilor magnetice rezultante din cele două miezuri:

$$\begin{cases} h_A = H_0 + \sum_{k=1}^{3} H_k \sin (k\omega t + \varphi_k) \\ h_B = H_0 + \sum_{k=1}^{3} (-1)^k H_k \sin (k\omega t + \varphi_k) \end{cases} \tag{8}$$

unde:

$$\begin{cases} H_0 = \alpha_1 e^{\beta_1 B_0} \left(\dfrac{a_1}{2} + f_1 \sin \psi_2 \right) - \alpha_1 \\ H_1 = \alpha_1 e^{\beta_1 B_0} \sqrt{c_1^2 + g_1^2 + h_1^2 + 2 c_1 (h_1 - g_1) \sin \psi_2 + 2 g_1 h_1 \cos 2\psi_2} \\ H_2 = \alpha_1 e^{\beta_1 B_0} \sqrt{b_1^2 + e_1^2 + 2 b_1 e_1 \sin \psi_2} \\ H_3 = \alpha_1 e^{\beta_1 B_0} \sqrt{d_1^2 + g_1^2 + 2 g_1 d_1 \sin \psi_2} \\ \varphi_1 = \operatorname{arc\,tg} \dfrac{(g_1 + h_1) \cos \psi_2}{c_1 + (h_1 - g_1) \sin \psi_2} \\ \varphi_2 = \operatorname{arc\,tg} \dfrac{b_1 + e_1 \sin \psi_2}{e_1 \cos \psi_2} \\ \varphi_3 = \operatorname{arc\,tg} \dfrac{-g_1 \cos \psi_2}{d_1 + g_1 \sin \psi_2} \end{cases} \tag{9}$$

În relațiile (9) apar 8 funcțiuni care sînt dependente numai de inducțiile B_1 și B_2.

$$\begin{cases} a_1 = 2 J_0(j\beta_1 B_1) J_0(j\beta_1 B_2) \\ b_1 = 2 J_0(j\beta_1 B_2) J_2(j\beta_1 B_1) \\ c_1 = -2 J_0(j\beta_1 B_2)\, jJ_1(j\beta_1 B_1) \\ d_1 = -2 J_0(j\beta_1 B_2)\, jJ_3(j\beta_1 B_1) \\ e_1 = -2 J_0(j\beta_1 B_1)\, jJ_1(j\beta_1 B_2) \\ f_1 = -2\, jJ_1(j\beta_1 B_2) J_2(j\beta_1 B_1) \\ g_1 = 2\, jJ_1(j\beta_1 B_1)\, jJ_1(j\beta_1 B_2) \\ h_1 = 2\, jJ_1(j\beta_1 B_2)\, jJ_3(j\beta_1 B_1). \end{cases} \tag{10}$$

b) *Calculul curenților*

Stabilirea expresiilor curenților prin circuitul de alimentare și prin circuitul de sarcină este posibilă folosind ultimele două relații din sistemul (1):

$$\begin{cases} i_1 = \dfrac{l_{Fe}}{2 w_1} (h_A - h_B) \\ i_2 = \dfrac{l_{Fe}}{2 w_2} (h_A + h_B) - \dfrac{w_0}{w_2} I_0. \end{cases} \tag{11}$$

Valorile efective ale celor doi curenți se obțin imediat:

$$\begin{cases} I_1 = \dfrac{l_{Fe}}{\sqrt{2}w_1}\sqrt{H_1^2+H_3^2} \\ I_2 = \dfrac{l_{Fe}H_2}{\sqrt{2}w_2} \end{cases} \quad (12)$$

Calculul curentului continuu prin circuitul de premagnetizare nu prezintă dificultăți dacă se ține seama de prezența filtrului L_f, C_f (fig. 1) ce are rolul de a înăbuși armonicile pare ale curenților alternativi din circuitul respectiv.

$$I_0 = \frac{U_0}{2R_0}. \quad (13)$$

c) Calculul armonicelor inducției magnetice.

Deducerea curenților i_1 și i_2 presupune cunoașterea inducțiilor B_0, B_1, B_2 și a defazajului ψ_2. În continuare se va considera funcționarea dublorului numai în sarcină rezistivă*, încît a doua ecuație din sistemul (1) se scrie în felul următor:

$$-2w_2S_{Fe}\frac{d}{dt}[B_0 + B_2\sin(2\omega t + \psi_2)] =$$

$$= R'_2 i_2 + \frac{1}{C_2}\int i_2\,dt$$

unde s-a folosit notația: $R'_2 = 2R_2 + R_s$. În relația de mai sus se înlocuiesc valorile curenților i_1 și i_2 din expresiile (11) și din compararea coeficienților termenilor în sinus și cosinus se obțin relațiile următoare:

$$\begin{cases} A\cos\psi_2 = B\cos\varphi_2 - C\sin\varphi_2 \\ A\sin\psi_2 = B\sin\varphi_2 + C\cos\varphi_2 \end{cases} \quad (14)$$

în care:

$$\begin{cases} A = 4S_{Fe}w_2\omega B_2 \\ B = \dfrac{l_{Fe}H_2}{2\omega C_2 w_2} \\ C = \dfrac{l_{Fe}H_2R'_2}{w_2} \end{cases} \quad (15)$$

* În ipoteza că circuitul de sarcină este parcurs de un curent sinusoidal de pulsație 2ω, inductivitatea L_s a sarcinii se poate echivala cu o capacitate de valoare

$$C_e = -\frac{1}{4\omega^2 L_s}$$

Acest fapt permite să se studieze numai cazul sarcinii rezistive, urmînd ca în cazul sarcinii rezistiv-inductive să se determine o nouă valoare a capacității de compensare longitudinală.

astfel încît rezultă:

$$A^2 = B^2 + C^2 \quad (16)$$

Între relațiile (4) și (16) se elimină componenta continuă a inducției magnetice și se obține următoarea relație:

$$B_2^2\left(\frac{1}{2} + \frac{f_1}{a_1}\sin\psi_2\right)^2 = n\left[\left(\frac{b_1}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{e_1}{a_1}\right)^2 + 2\left(\frac{b_1}{a_1}\right)\left(\frac{e_1}{a_1}\right)\sin\psi_2\right] \quad (17)$$

unde:

$$n = \frac{l_{Fe}^2}{16S_{Fe}^2 w_2^4\omega^2}\left(R'^2_2 + \frac{1}{4\omega^2C_2^2}\right)\left(\frac{w_0I_0}{l_{Fe}} + \alpha_1\right)^2. \quad (18)$$

Expresia lui n permite efectuarea unei observații interesante; la o valoare bine stabilită a acestuia există, în anumite limite, posibilitatea ca pentru o anumită curbă $B_2 = F(B_1)$ să se simuleze variația capacității de compensare longitudinală C_2 (în dorința de a obține un regim optim de funcționare [6]) prin variația curentului de premagnetizare I_0, prin variația raportului $\frac{l_{Fe}}{S_{Fe}}$, ș.a.

Dîndu-se parametrii constructivi ai dublorului, precum și valorile mărimilor U_0, R'_2, C_2, L_s, ω, determinarea pe cale grafică a dependenței $B_2 = F(B_1)$ este posibilă folosind relațiile (14) și (17).

În vederea executării unui calcul rapid se pot folosi curbele din figura 2 și tabelele 1 și 2.

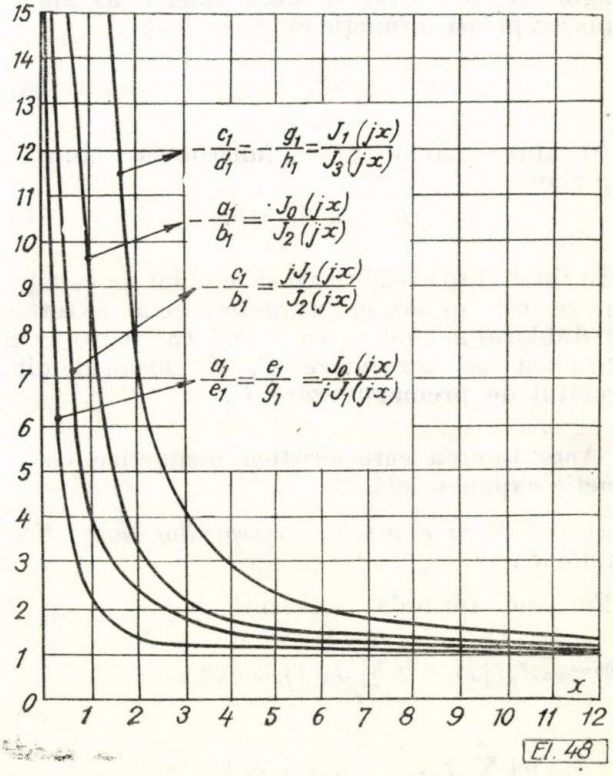


Fig. 2. Valorile rapoartelor funcțiilor a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1.

Valorile lui $a_1 = 2\ J_0\ (j\beta B_1)\ J_0\ (j\beta B_2)$ *Tabela 1*

βB_2 \ βB_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,175	5,745	12,30	28,46	68,60	169,4	425	1077	2755	7085	18260	47750
2		10,24	22,25	51,52	124,2	306,6	768,8	1950	4986	12840	33230	86400
3			47,62	110,3	265,8	656,2	1648	4172	10670	27480	71130	0,1849*
4				255,4	615,4	1520	3610	9663	24710	63630	0,1646*	0,4282*
5					1483	3661	9182	23280	59560	0,1533*	0,3969*	1,032*
6						8040	22670	57490	0,146*	0,379*	0,979*	2,540*
7							56840	0,144*	0,369*	0,949*	2,450*	6,390*
8								0,375*	0,934*	2,420*	6,230*	16,20*
9									2,391*	6,158*	15,94*	41,40*
10										14,86*	41,40*	106,6*
11											106,2*	276*
12												718*

*) Valorile notate cu asterisc se înmulțesc cu 10^6

Valorile lui $-f_1 = 2j\ J_1\ (j\beta B_2)\ J_2\ (j\beta B_1)$ *Tabela 2*

βB_2 \ βB_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,156	0,772	2,500	7,190	19,60	52,39	138,8	366,2	968	2554	6748	17830
2	0,440	2,200	7,120	20,40	55,60	148,8	394	1042	2740	7240	19160	50638
3	1,106	5,440	17,68	50,60	138,2	370	980	2590	6820	18000	47600	0,126*
4	2,73	13,46	43,60	125,2	342	912	2420	6400	16800	44000	0,116*	0,311*
5	6,815	33,60	109	312	852	2280	6040	16000	42000	0,110*	0,292*	0,775*
6	17,17	84,6	274	788	2140	5740	15200	40000	0,106*	0,28*	0,74*	1,953*
7	43,68	214	698	2000	5460	14570	38000	0,102*	0,268*	0,700*	1,880*	4,968*
8	112	552	1792	5140	14000	37300	98000	0,260*	0,690*	1,824*	4,820*	12,74*
9	288	1422	4600	13200	36000	96000	0,254*	0,676*	1,782*	4,700*	12,42*	32,83*
10	747,9	3680	12000	34000	93000	0,248*	0,660*	1,750*	4,620*	12,20*	32,2*	85,06*
11	1946	9580	30000	90000	0,240*	0,650*	1,720*	4,540*	12*	31,60*	83,80*	221,3*
12	5079	25011	81190	0,233*	0,634*	1,695*	4,494*	11,85*	31,31*	82,68*	218,4*	577,7*

*) Valorile notate cu asterisc se înmulțesc cu 10^5.

În acest mod, funcțiunile a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1 sînt ușor determinabile pentru o mulțime discretă de valori date lui B_1 și B_2. Prin interpolări liniare se obțin cu suficientă aproximație cele 8 funcțiuni de mai sus pentru o mulțime continuă de valori date lui B_1 și B_2*.

Amplitudinea fundamentalei inducției magnetice B_1 se deduce cunoscînd tensiunea de alimentare a dublorului cu ajutorul primei relații (3), amplitudinea armonicii doi a inducției magnetice B_2 rezultă imediat din curba $B_2 = F(B_1)$ iar componenta continuă B_0 se calculează folosind relația (4).

d) Calculul caracteristicilor externe

Caracteristicile externe ale dublorului se deduc imediat cu ajutorul relației $U_2 = R_s I_2$ în două ipoteze :

* Pentru o mai mare precizie se pot utiliza tabelele din lucrarea (20).

a) — se menţine I_0 constant şi se calculează caracteristicile externe pentru diferite valori ale tensiunii de alimentare.

b) — se menţine constantă tensiunea de alimentare şi se calculează caracteristicile externe pentru diverse valori ale curentului de premagnetizare.

Calculul diverselor valori ale tensiunii U_2 se reduce la calculul curenţilor I_2 cu ajutorul relaţiei (12). Nu este necesar ca pentru fiecare punct al caracteristicii externe să se calculeze o curbă $B_2 = F(B_1)$ deoarece parametrii R_2', C_2, I_0 pentru care se ridică aceste curbe nu apar decît într-un singur factor în relaţia (17) şi deci este suficient să se calculeze cîteva curbe pentru valori bine alese ale lui n.

3. Aproximarea caracteristicii magnetice prin funcţia sinus hiperbolic

În acest caz caracteristica magnetică este dată de relaţia (6). Se folosesc următoarele formule de dezvoltare în serie [7]:

$$\begin{cases} \operatorname{sh}(x\sin\omega t) = -2\mathrm{j}\sum_{k=1}^{\infty} J_{2k-1}(\mathrm{j}x)\sin(2k-1)\,\omega t \\ \operatorname{ch}(x\sin\omega t) = J_0(\mathrm{j}x) + 2\sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(\mathrm{j}x)\cos 2k\omega t. \end{cases} \tag{19}$$

În final cîmpurile magnetice rezultante au expresii tot de forma (8) în care $H_0 = \alpha_2\left(\frac{a_2}{2} + f_2\sin\psi_2\right)$ iar valorile mărimilor H_1, H_2, H_3, φ_1, φ_2, φ_3 se obţin din relaţiile (9) în care în loc de $\alpha_1 e^{\beta_1 B_0}$ se introduce α_2, în loc de β_1 se introduce β_2 şi în loc de a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, se introduc mărimile a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, h_2 unde s-au făcut notaţiile:

$$\begin{cases} a_2, b_2, g_2, h_2 = a_1, b_1, g_1, h_1 \cdot \operatorname{sh}\beta_2 B_0 \\ c_2, d_2', e_2', f_2 = c_1, d_1, e_1, f_1 \cdot \operatorname{ch}\beta_2 B_0. \end{cases} \tag{20}$$

În continuare se procedează ca şi în cazul exprimării caracteristicii magnetice printr-o exponenţială. Relaţiile de calcul obţinute sînt ceva mai complicate decît în cazul funcţiei exponenţiale datorită faptului că eliminarea lui B_0 spre a se obţine o relaţie similară cu (17) este mai dificilă. Calculele fiind complicate folosirea calculatoarelor devine necesară şi pentru calculul valorilor funcţiilor $J_p(jx)$ este necesară relaţia:

$$J_p(jx) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \left(\frac{\mathrm{j}x}{2}\right)^{p+2k}}{k!\,(p+k)!}. \tag{21}$$

4. Verificări experimentale

Încercările experimentale au fost efectuate pe un dublor feromagnetic cu următorii parametri constructivi: $S_{Fe} = 6{,}45 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2$; $l_{Fe} = 0{,}44$ m; $w_1 = w_2 = w_0 = 282$ spire; $R_1 = R_0 = R_2 = 0{,}88\ \Omega$ (la 75°C). Caracteristica magnetică a dublorului este prezentată în figura 3. Coeficienţii α_1, β_1; α_2, β_2 s-au determinat luînd două puncte M şi N aparţinînd caracteristicii magnetice şi rezolvînd grafoanalitic sistemele rezultate [7].

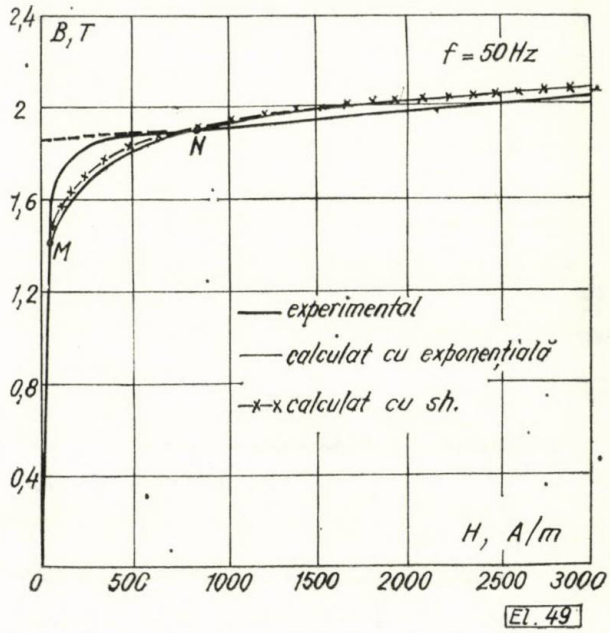


Fig. 3. Caracteristica magnetică a miezului feromagnetic la frecvenţă de 50 Hz.

S-au găsit următoarele expresii:

$$\begin{cases} h = 0{,}027\ (e^{5{,}5\,b} - 1) \\ h = 0{,}063\ \operatorname{sh}\ 5{,}4\ b. \end{cases}$$

a) Calculul curenţilor. Curenţii prin circuitul primar şi secundar s-au calculat considerînd valorile $R_s = 9{,}74\ \Omega$, $C_s = 0$; $L_s = 0$; $C_2 = 33 \cdot 10^{-6}$ F; $I_0 = 1{,}6$ A; $\omega = 314\ \mathrm{s}^{-2}$. Curba $B_2 = F(B_1)$ pentru cazul considerat este reprezentată în figura 4. Rezultatele obţinute sînt prezentate prin curbele din figura 5. Se vede că aproximarea caracteristicii magnetice cu o exponenţială dă rezultate ceva mai depărtate de realitate decît aproximarea cu un sinus hiperbolic.

În schimb, volumul de calcul este mult mai mic în primul caz decît în al doilea. Ambele metode aproximează valorile curenţilor prin adaos. O foarte mare importanţă în obţinerea unui rezultat corect îl are aflarea coeficienţilor α_1, α_2 şi β_1, β_2. Erorile devin cu atît mai mari cu cît punctul N (fig. 3) înaintează spre por-

țiunea foarte saturată a caracteristicii magnetice și cu cît punctul M se apropie de cotul de saturație, din cauză că în aceste situații valo-

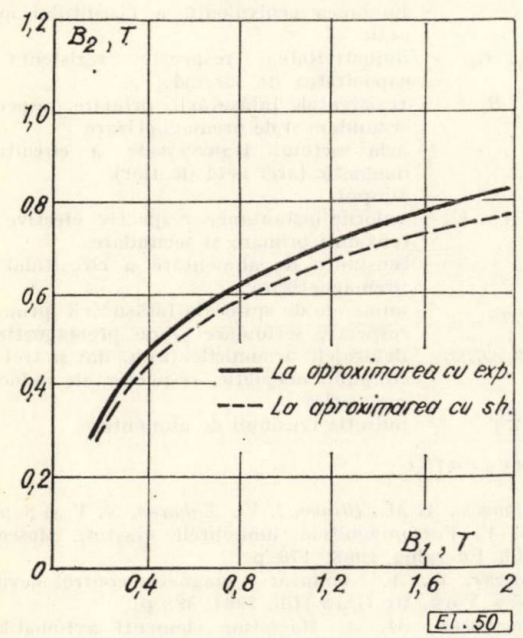


Fig. 4. Dependența dintre armonica a doua și armonica întîia a inducției magnetice.

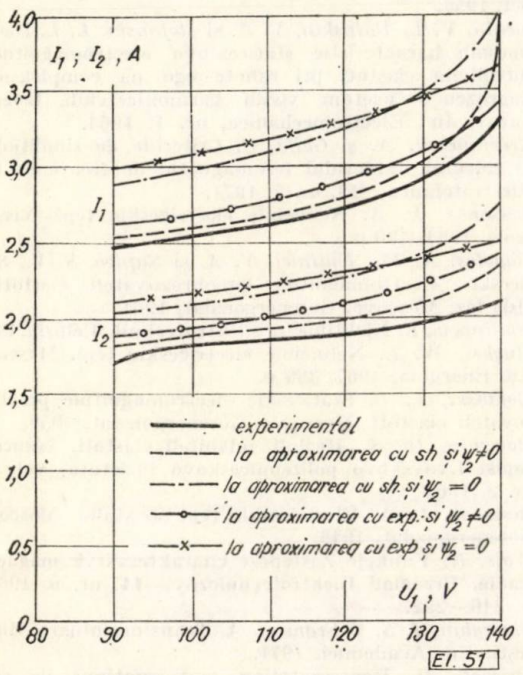


Fig. 5. Dependența de tensiunea de alimentare a curenților prin circuitul primar și secundar.

rile lui β_1 și β_2 cu care sînt proporționale argumentele tuturor funcțiilor Bessel, cresc foarte mult, ceea ce face ca șirul J_0, J_1, J_2, ... să nu mai fie puternic convergent și neglijarea funcțiunilor J_4, J_5, ... să împieteze precizia rezultatelor, deși în aceste situații caracteristica magnetică aproximată se apropie extrem de mult de cea experimentală. De asemenea erorile devin nepermis de mari și dacă punctul N se află pe cotul caracteristicii magnetice sau mai jos, iar punctul M se află mult sub cotul de saturație deoarece în aceste cazuri, curba aproximată se depărtează foarte mult de curba ridicată experimental.

Un calcul foarte rapid se poate face dacă se consideră unghiul $\psi_2 = 0$. Erorile obținute în acest caz nu sînt cu mult mai mari decît erorile rezultate în situația $\psi_2 \neq 0$ (fig. 5).

Caracteristicile externe se vor calcula în ipoteza $\psi_2 = 0$ în situația în care se aproximează caracteristica magnetică cu o funcție exponențială.

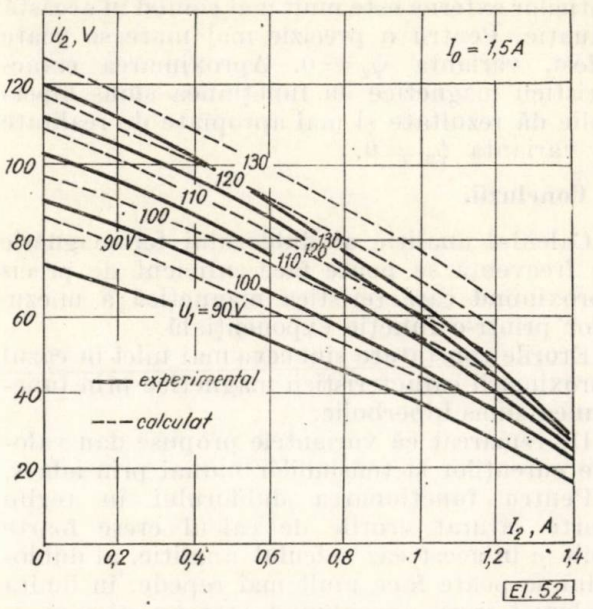


Fig. 6. Caracteristicile externe ale dublorului funcționînd în sarcină rezistivă la diverse valori ale tensiunii primare.

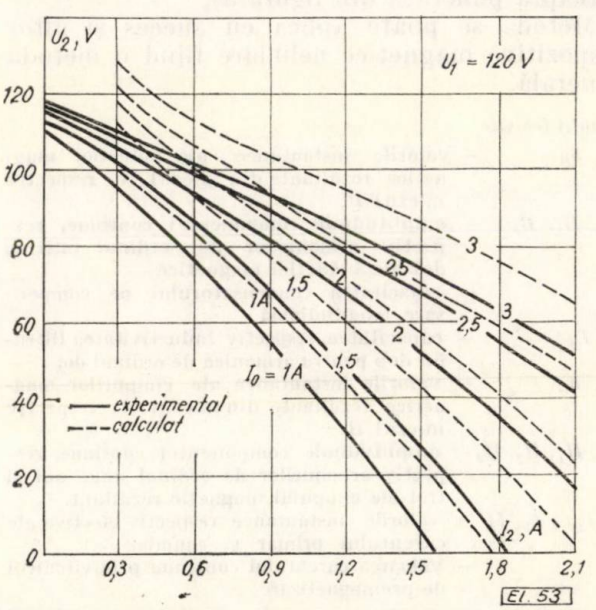


Fig. 7. Caracteristicile externe ale dublorului funcționînd în sarcină rezistivă la diverse valori ale curentului de premagnetizare.

b) Calculul caracteristicilor externe. Caracteristicile externe ale dublorului feromagnetic de frecvență se calculează pentru cazul sarcinii rezistive.

Metoda este aplicabilă și în cazul sarcinii rezistiv-inductive precum și în cazul unei sarcini formată din rezistență, inductivitate și capacitate. Capacitatea de compensare longitudinală s-a considerat egală cu 33.10^{-6} F iar pulsația tensiunii de alimentare egală cu 314 s^{-1}.

Curbele experimentale și cele calculate sînt prezentate în figurile 6 și 7.

S-a preferat modul de aproximare a caracteristicii magnetice cu o funcție exponențială, varianta $\psi_2 = 0$, deoarece calculul caracteristicilor externe este mult mai comod în această situație. Pentru o precizie mai mare se poate folosi, varianta $\psi_2 \neq 0$. Aproximarea caracteristicii magnetice cu funcțiunea sinus hiperbolic dă rezultate și mai apropiate de realitate în varianta $\psi_2 \neq 0$.

5. Concluzii.

Calculul analitic al dublorului feromagnetic de frecvență se poate face suficient de precis aproximînd caracteristica magnetică a miezurilor printr-o funcție exponențială.

Erorile constatate sînt ceva mai mici în cazul aproximării caracteristicii magnetice prin funcțiunea sinus hiperbolic.

De remarcat că variantele propuse dau valorile curenților și tensiunilor numai prin adaos.

Pentru funcționarea dublorului în regim foarte saturat erorile de calcul cresc foarte mult și în acest caz calculul analitic, al dublorului se poate face mult mai repede, în limita acelorași erori, aproximînd caracteristica magnetică printr-o dreaptă de pantă foarte mică (dreapta punctată din figura 3).

Metoda se poate aplica cu succes și altor dispozitive magnetice neliniare fiind o metodă generală.

Notații folosite

b_A, b_B — valorile instantanee ale inducției magnetice rezultante din miezul A, respectiv miezul B.

B_0, B_1, B_2 — amplitudinile componentei continue, respectiv armonicilor de ordinul întîi și doi ale inducției magnetice.

C_2 — capacitatea condensatorului de compensare longitudinală

C_f, L_f — capacitatea, respectiv inductivitatea filtrului dop pentru armonica de ordinul doi

h_A, h_B — valorile instantanee ale cîmpurilor magnetice rezultante din miezul A, respectiv miezul B.

H_0, H_1, H_2, H_3 — amplitudinile componentei continue, respectiv armonicilor de ordinul unu, doi și trei ale cîmpului magnetic rezultant.

i_1, i_2, ; I_1, I_2 — valorile instantanee respectiv efective ale curentului primar și secundar

I_0 — valoarea curentului continuu prin circuitul de premagnetizare

j — unitatea imaginară $\sqrt{-1}$

$J_k(jx)$ — funcțiile Bessel de argument imaginar și de ordinul k

k — indice de sumare

l_{Fe} — lungimea echivalentă a circuitului magnetic

L_s, R_s, C_s — inductivitatea, respectiv rezistența și capacitatea de sarcină.

R_1, R_2, R_0 — rezistențele înfășurării primare, respectiv secundare și de premagnetizare

S_{Fe} — aria secțiunii transversale a circuitului magnetic (aria netă de fier)

t — timpul

u_1, u_2; U_1, U_2 — valorile instantanee respectiv efective ale tensiunii primare și secundare

U_0 — tensiunea de alimentare a circuitului de premagnetizare

w_1, w_2, w_0 — numerele de spire ale înfășurării primare, respectiv secundare și de premagnetizare

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3; \psi_1, \psi_2$ — defazajele armonicilor unu, doi și trei ale cîmpului magnetic, respectiv ale inducției magnetice

$\omega = 2\pi f$ — pulsația tensiunii de alimentare.

Bibliografie

[1] *Bamdas, A. M., Blinov, I. V., Zaharov, N. V.* și *Șapiro, S. V.* Ferromagnitnie umnojiteli ciastoti. Moscova, Ed. Energhia 1968, 176 p.

[2] *Geyger, W. A.* Nonlinear – magnetic control devices. New York, Mc Graw-Hill, 1964, 388 p.

[3] *Rozemblat, M. A.* Magnitnie elementi avtomatiki i vîcislitelnoi tehniki. Moscova, Nauka, 1966, 719 p.

[4] *Biringer, P. P.* Design of the Resistively Loaded static Frequency Doubler. În: Power Appar. and Systems, oct, 1956.

[5] *Benin, V. L. Raiuškin, V. A.* și *Rojanski, L. L.* Rascet vneșnih haracteristic staticescovo electromagnitnovo udvoitelia ciastoti pri rabote ego na compleksnuiu nagruzcu s ucetom vîsșih garmoniceschih, Izvestia vuzov, În: Electromechanica, nr. 1, 1964.

[6] *Crăciunescu, A.* și *Ghiță, C.* Criteriile de similitudine și calculul dublorului feromagnetic de frecvenă. În: Electrotehnica, **19**, nr. 7, 1971.

[7] *Bessonov, L. A.* Nelineinie electriceskie țepi. Vîsșaia școla, 1964, 430 p.

[8] *Bamdas, A. M., Kulinici, V. A.* și *Șapiro, S. V.*, Staticeskie electromagnitnie preobrazovateli ciastoti i cisla faz. Moscova, Gosenergoizdat, 1961.

[9] *Philippow, E.* Nichtlineare Elektrotechnik, Leipzig, 1963.

[10] *Hughes, W. L.* Nelineinie electriceskie țepi. Moscova, Ed. Energhia, 1967, 336 p.

[11] *Rojanski, L. L.* Staticeskie electromagnitnie preobrazovateli ciastoti. Moscova, Gosenergoizdat, 1959.

[12] *Batranin, Iu. S.* Realnii udvoiteli ciastoti, Naucinie zapisi Lvovskovo politehniceskovo instituta, vol. 88, nr. 2, 1962

[13] *Bessonov, L. A.* Electriceskie țepi so staliu, Moscova, Gosenergoizdat, 1948.

[14] *Wajs, K.* Funkcje Zastepcze charakterystyk magnesowania, Przeglad Elektrotechniczny, **14**, nr. 6, 1968, p. 246–252.

[15] *Gheorghiu, I. S.* și *Fransua, A.* Transformatoare. București, Ed. Academiei, 1971.

[16] *Bricoot, P.* Representation mathematique de cicle d'histeresis. În: R. G. E., iunie, 1945, p. 183–191.

[17] *Bricoot, P.* La thèorie de l'inductances ferromagnetiques. În: R.G.E., februarie, 1946, p. 61–73.

[18] *Bessonov, L. A.* Primenenie drosselei nasiscenia v sovremenoi tehnike. În: Electricestvo, nr. 5, 1948.

[19] *Rojanski, L. L.* Magnitnie elementi, Kiev, 1964.

[20] *Iahnke-Emde.* Tafeln Höherer Funktionen. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft – Leipzig, 1960.

Intrat în redacție la 31. VII. 1972

Încercări artificiale privind comportarea izolatoarelor poluate

TH. VASCAN, M. TENDLER, M. MARICARU, D. RUCINSCHI* — București

CZ 621.135.622-742:621.317.331

Scăderea tensiunii de conturnare a izolației de exterior ca urmare a poluării naturale și industriale a izolatoarelor, afectează în anumite condiții meteorologice siguranța în exploatare a sistemului energetic. Cercetări intense au loc de mai mulți ani în numeroase țări, cercetări care au dus la elaborarea de tipuri de izolatoare speciale, măsuri profilactice și noi metode de încercare pentru verificarea eficienței mijloacelor de combatere a poluării [1].

În domeniul încercărilor la poluare din circa 11 procedee experimentate s-au impus două — cu „strat străin granular" și cu „ceață salină" — pentru care există preocupări intense în cadrul CIGRE și CEI.

Pe plan mondial, în afara perfecționării continue a acestor metode, se fac cercetări pentru elaborarea unei încercări unice, valabilă atît pentru poluare electrolitică cît și pentru cea granulară, care să fie mai puțin oneroasă din punct de vedere al echipamentelor necesare, și mai completă în ce privește caracterizarea aptitudinilor izolatoarelor. Metodele în cicluri de poluare, spălare, uscare sînt astăzi în experimentare în multe laboratoare.

În țara noastră, cercetări în acest domeniu au avut loc în ultimii ani la I.C.P.E. și I.R.M.E.

I.C.P.E. și-a propus realizarea unei instalații de încercare, însușirea unei metode artificiale și efectuarea de încercări pentru compararea comportării izolatoarelor curate, poluate și protejate cu unsori în condiții de poluare artificială și naturală.

1. Metodele de încercare utilizate

1.1. Metoda ceții saline. Inițial a fost utilizată tehnica elaborată la CERL (Anglia) [2]. Din 1968 s-a lucrat conform precizărilor apărute în privința acestei metode ca rezultat al experimentărilor efectuate sub egida „Grupului de lucru pentru poluarea izolatoarelor" din cadrul CIGRE [3] și în sfîrșit din 1971 după proiectul de recomandări CEI [4]. Această ultimă tehnică, recomandată pentru metoda ceții saline este, pe scurt, următoarea :

— se instalează izolatorul în camera de încercare, respectînd poziția reală din serviciu și la o distanță de 0,5 m pe 100 kV din tensiunea de încercare dar nu mai mică de 2 metri, față de pămînt

— se face spălarea cu detergenți și cu apă curentă ;

— se aplică tensiunea de încercare specificată ; pentru încercările de ținere aceasta este tensiunea cea mai ridicată a rețelei față de pămînt ;

— se aspersează izolatorul cu o ceață produsă de un sistem de pulverizatoare format din două coloane cu cîte N pulverizatoare situate la trei metri de o parte și de alta a izolatorului într-un plan care conține izolatorul. Numărul N de pulverizatoare pentru încercarea unui izolator de lungime L (m) este dat de relația :

$$N = \frac{L}{0{,}6} + 3.$$

Pulverizatoarele ale căror duze și configurație sînt ca cele descrise în lucrarea [5] sînt alimentate cu aer comprimat la 7 kgf/cm² și respectiv cu soluție salină cu una din concentrațiile : 2,5 ; 3,5 ; 5 ; 7 ; 10 ; 14 ; 20 ; 28 ; 40 ; 56 ; 80 ; 112 ; 160 ; 224 g/l la un debit de 0,5 l/min. Criteriul de apreciere este salinitatea maximă la care izolatorul suportă fără conturnare timp de o oră tensiunea specificată în 3 din 4 probe consecutive.

Încercarea poate fi efectuată pentru două scopuri :

a) determinarea „salinității de ținere specificată" la tensiunea specificată ;

b) determinarea „caracteristicii de ținere" a izolatorului, în care caz se caută salinitatea maximă de ținere pentru un număr oarecare de valori ale tensiunii de încercare.

Probele de tipul „*a*" necesită o încercare inițială suplimentară numită precondiționarea electrică a izolatorului, introdusă recent în tehnica acestor încercări [4].

1.2. Metoda combinată sau semidirectă, semnalată încă din 1960 [5] constă în îmbinarea unei poluări naturale cu o umidificare artificială cu conductivitate controlată. Izolatoarele se expun în regiuni puternic poluate un timp care în general trebuie să fie mai mare de 6 luni [6]. Recoltarea izolatoarelor se face după o perioadă cu precipitații reduse pentru a evita pierderea componentelor solubile ale stratului străin.

* Ing. *Th. Vascan*, ing. *M. Maricaru* și ing. *D. Rucinschi* lucrează la I.C.P.E., iar ing. *M. Tendler*, la I.R.M.E.

Tehnica este următoarea :

— instalarea izolatorului în camera de încercare ca la proba cu ceață salină ;

— solicitarea electrică se poate face cu o tensiune de încercare constantă, și în general egală cu tensiunea maximă de serviciu față de pământ a sistemului pe toată durata probei. Există și o a doua variantă, în care se menține această tensiune constantă pînă la conturnare, iar dacă aceasta nu se produce, pînă la atingerea gradului maxim de diminuare a calităților izolante determinat prin atingerea unui nivel maxim și stabilizat al amplitudinii impulsurilor curentului de fugă, după care tensiunea se crește lent pînă la conturnare ;

— umidificarea izolatorului se face cu ceață salină cu o conductivitate în general mai mare de 1 000 μScm^{-1} [7] determinată după ceața măsurată în zona de recoltare a izolatoarelor. Acestui procedeu, deși are avantajul că permite timpi de încercare mai lungi, i se reproșează că dă rezultate optimiste din cauza scurgerii de pe suprafața izolatorului a elementelor solubile din stratul străin antrenate de cantitatea relativ mare de apă care ajunge pe izolator. Ca urmare, s-a preconizat un al doilea mod de umidificare, prin condensarea pe suprafața izolatorului, răcit în prealabil, a apei din atmosfera supraîncărcată de vapori a camerei de încercare.

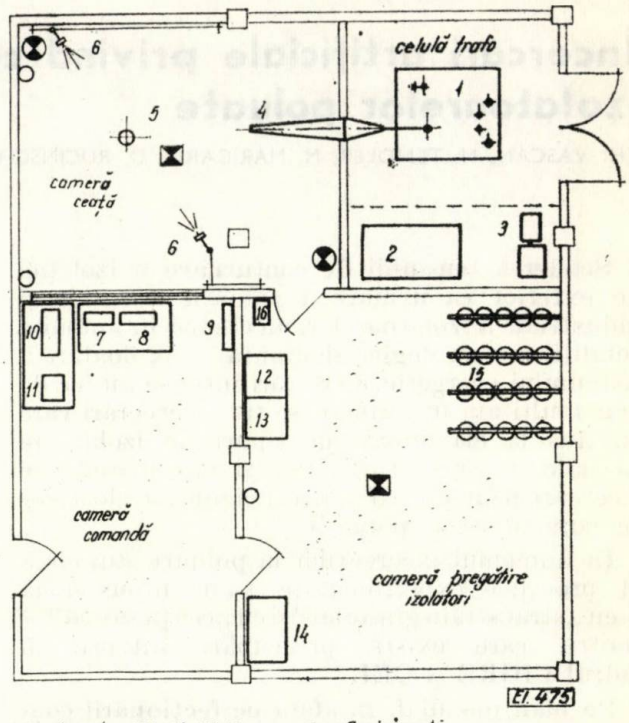
Avantajul necontestat al metodei combinate este că sincronizează apariția unei umidificări lente, periculoase cum este ceața sau roua cu gradul critic de poluare, punînd izolatorul în condițiile cele mai grele care pot apare în exploatare, într-un moment ales de experimentator și sub controlul acestuia.

2. Instalația de încercare

În lucrare se prezintă rezultatele încercărilor efectuate atît cu instalația realizată în anul 1967 și perfecționată în 1969 [8], cît și cu o instalație pusă în funcțiune în 1971 la noul laborator de înaltă tensiune al I.C.P.E.

Spațiile afectate încercărilor la poluare și amplasarea utilajelor sînt arătate în figura 1, iar schema electrică de principiu a instalației de înaltă tensiune, măsură și protecție, în figura 2.

Transformatorul de alimentare 300 kVA, 100 kV, cu tensiunea de scurt circuit $u_k = 3{,}82\,\%$, permite un curent de scurtcircuit pe partea de înaltă tensiune de 10 A, sursa de înaltă tensiune corespunzînd astfel ca putere cerințelor specifice acestei încercări.



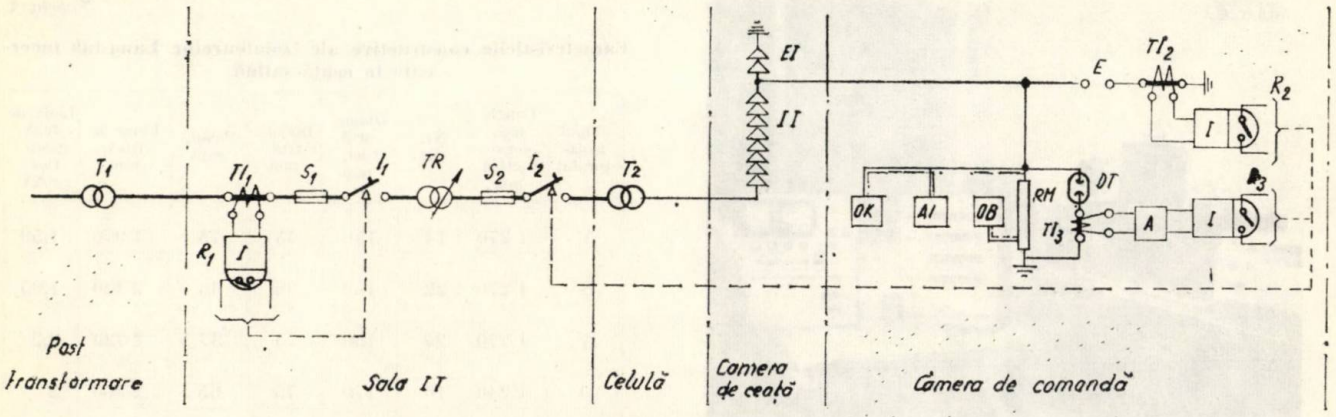
1 = Transformator 300 kVA 100 kV
2 = Recipient 0,3 m³ 10 kgf/cm²
3 = Compresor ECS
4 = Izolator de trecere
5 = Izolatorul de încercat
6 = Coloană pulverizatoare
7 = Analizor de impulsuri
8 = Pupitru de comandă
9 = Reglaj ceață
10 = Oscilograf catodic cu baleiaj mecanic
11 = Oscilograf cu bucle cu baleiaj mecanic
12 = Recipient formare
13 = Recipient soluție 16%
14 = Cuvă spălare
15 = Stelaje izolatoare
16 = Troliu manevre izolator

Fig. 1. Amplasarea instalației de încercare la poluare.

Camera de ceață are dimensiunile 5 m × 6 m ; h = 5 m și permite încercarea izolatoarelor pentru sistemul de 110 kV. Instalația tehnologică pentru ceața salină, a cărei funcționare se poate urmări în figura 3, asigură funcționarea timp de o oră la debitul cerut de izolatoarele de 110 kV : : Q = 300 l soluție salină la o concentrație pînă la 224 g/l.

În legătură cu dispoziția obiectului de încercat trebuie arătat că nu s-a putut deocamdată respecta distanța de 3 m ± 5 cm recomandată de ultimul document CEI [4] între axa izolatorului și pulverizatoare așa cum se arată în figura 4. Aceasta nu afectează caracterizarea comparativă a izolatoarelor încercate în acest laborator, dar nu permite comparații cu alte laboratoare. Există posibilități de remediere a acestei situații.

Instalația de măsură și protecție amplasată în camera de comandă, arătată în figura 5, cuprinde pe lîngă analizorul integral de amplitudine, oscilograful catodic cu baleiaj mecanic și oscilograful monitor, un oscilograf cu lumină ultravioletă cu bucle de frecvență proprie 13 kHz, cu viteză de înregistrarea 10 mm/min.



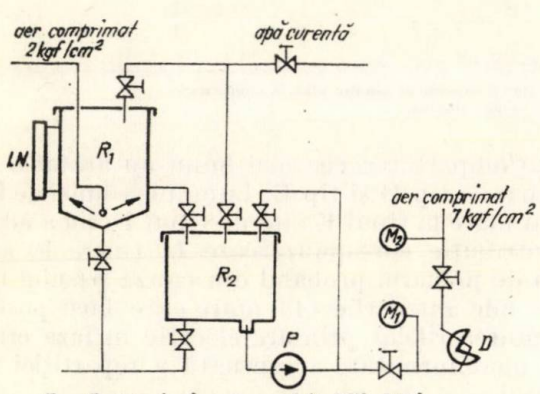
T_1 = Transformator 1000 kVA, 10.000/380 V
TR = Regulator de tensiune 210 kVA ; 220/0...440 V
T_2 = Transformator 300 kVA ; 0,1/0,4/100 kV
S_1, S_2 = Siguranțe fuzibile 630 A ; 500 V
I_1, I_2 = Întreruptor automat tripolar în aer DITA 1000 A ; 500 V
TI_1 = Transformator de curent tip CIT-0,5 ; 1000/5 A
TI_2, TI_3 = Transformatoare de curent de protecție
R_1 = Releu maximal de curent tip RCI-3 ; 6 A ; 50 Hz.
R_2, R_3 = Relee maximale de curent tip RMI-KA ; 1,6 A
EI = Elemente de izolare
II = Izolatorul de încercat
E = Eclator de izolare Ua = 1000 Umax.
DT = Descărcător telefonic cu preionizare
A = Amplificator 1:20
RM = Rezistență de măsură 135 Ω tip antiinductivă
OK = Oscilograf catodic cu baleiaj mecanic tip I.C.P.E.
OB = Oscilograf cu bucle SE-3006 DL
AI = Analizor integral de amplitudine tip I.C.P.E.

EI.476

Fig. 2. Schema electrică de principiu.

Pentru înregistrarea numărului impulsurilor curentului de fugă, cele patru canale ale analizorului au fost reglate pentru nivelele : canal I, 90 mA ; canal II, 220 mA ; canal III, 40 mA ; canal IV, 1 200 mA.

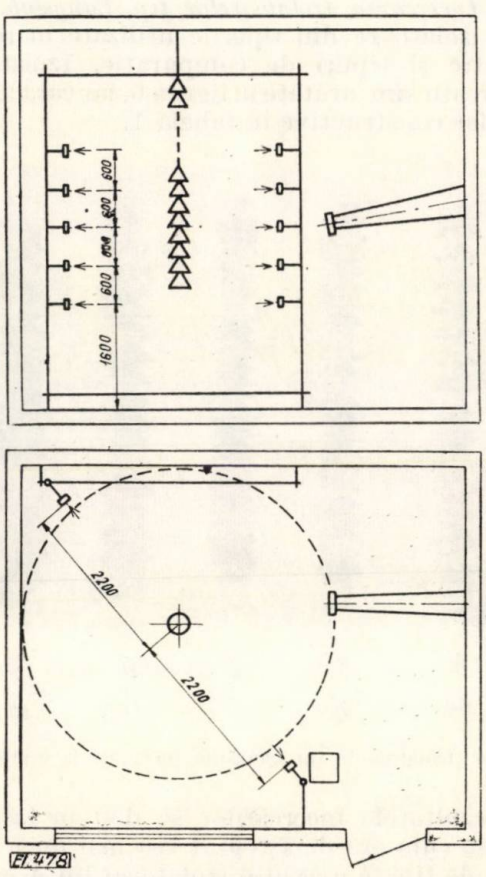
Protecția instalației este realizată în mai multe trepte așa cum se arată în schema electrică.



R_1 - Rezervor formare soluție 16% - 350 l
R_2 - Rezervor amestec soluție de lucru - 350 l
LN - Indicator de nivel
P - Pompă anticorozivă Q_4H_{10}
M_1, M_2 - Manometre
D - Duze conform CEI 36 (BC) 43

EI.477

Fig. 3. Schema tehnologică de producere a ceții saline.



EI.478

Fig. 4. Dispoziția pulverizatoarelor și izolatorului de încercat.

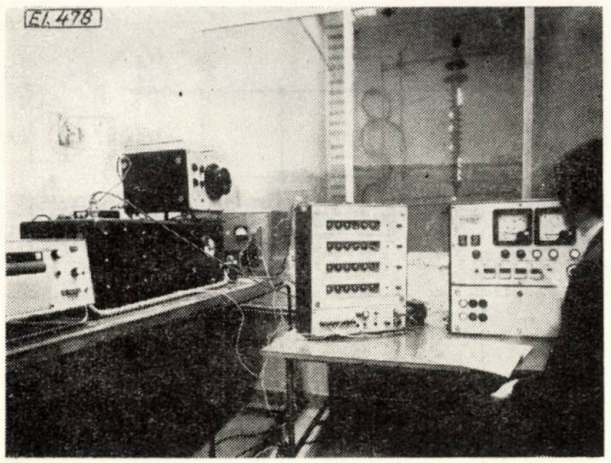


Fig. 5. Camera de comandă.

3. Încercări comparative la ceaţă salină pe izolatoare de suspensie de 110 kV

S-au executat încercări pe 5 tipuri de izolatoare Langstab (izolatoare tijă cu inimă plină) şi pe lanţuri din 10 tipuri de izolatoare capă-tijă autohtone şi străine.

S-a aplicat metoda ceţii saline în varianta cu determinarea „salinităţii maxime de ţinere" pentru o tensiune de încercare constantă : U_i = = 72 kV, (aprox. tensiunea cea mai ridicată a reţelei faţă de pămînt pentru sistemul de 110 kV)

3.1. Încercarea izolatoarelor tip Langstab. S-au ales izolatoare din tipurile utilizate în reţelele noastre şi tipuri de comparaţie. Izolatoarele încercate sînt arătate în figura 6, iar caracteristicile lor constructive în tabela 1.

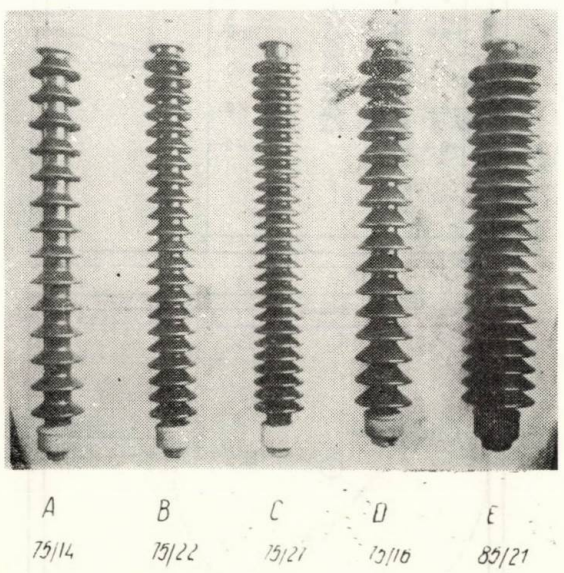


Fig. 6. Izolatoarele tip Langstab încercate la ceaţă salină.

Rezultatele încercărilor se dau în tabela 2.

Aşa cum era de aşteptat cea mai mică salinitate de ţinere a avut-o izolatorul tip A care nu este de altfel destinat a funcţiona în medii poluate. Comportarea cea mai bună au arătat-o izolatoarele tip D şi tip E. Lungimea liniei de fugă mai mare la tipul E faţă de tipul D, nu a adus o contribuţie corespunzătoare la ţinere la acest tip de poluare, probabil din cauza pasului relativ mic între rile (45 mm) care face posibilă şuntarea rilelor prin arc electric în faza critică de neuniformitate accentuată a repartiţiei tensiunii.

Pe timpul încercărilor s-a înregistrat numărul impulsurilor curentului de fugă pe nivelele de amplitudine : >13 mA; >27 mA; >50 mA; >120 mA.

Analiza rezultatelor făcută pentru salinitatea de 14 g/l la care au avut ţineri toate izolatoarele

Tabela 1

Caracteristicile constructive ale izolatoarelor Langstab încercate la ceaţă salină

Tipul izolatorului	Lungimea constructivă, mm	Nr. rile	Diametrul rilei, mm	Diametrul, mm	Pasul, mm	Linia de fugă, mm	Linia de fugă specifică, cm/kV
A	1 270	14	150	75	75	1 970	1,59
B	1 270	22	150	75	46	2 420	1,95
C	1 270	27	150	75	37,5	2 720	2,2
D	1 240	16	170	75	65	2 500	2
E	1 270	21	205	85	45	3 350	2,7

Tabela 2

Salinitatea maximă de ţinere la ceaţă salină a izolatoarelor Langstab încercate la ceaţă salină

Tipul izolatorului	Salinitatea, g/l				
	40	28	20	14	10
A	1* 2		6 19	21 46	T** T T
B			14 36	T T 37 T	
C		15 16	T 36 51	T T 58 T	
D	6 8	12 16	T T T		
E	30 14	34 38	T 47 T T		

* Indică timpul în minute pînă la conturnare
** Indică ţinerea.

cu excepția tipului A, arată așa cum rezultă și din figura 7, că numărul impulsurilor cu amplitudine mică, nu indică ordinea de merit corectă a izolatoarelor.

Abia la amplitudini mai mari, $i_{imp} > 120$ mA — fig. 7 d — alura curbelor dă un clasament care corespunde cu cel indicat de criteriul ținerii — tabela 2. Aceasta poate fi o explicație a rezultatelor contradictorii conferite de înregistrarea totalității numărului impulsurilor curentului de fugă la încercările pe izolatoare expuse în exploatare în diferite stații și confirmă opiniile similare ale unor cercetători străini, potrivit cărora, caracteristice pentru calitățile izolatorului nu pot fi decît impulsurile curentului de fugă care depășesc o anumită valoare :

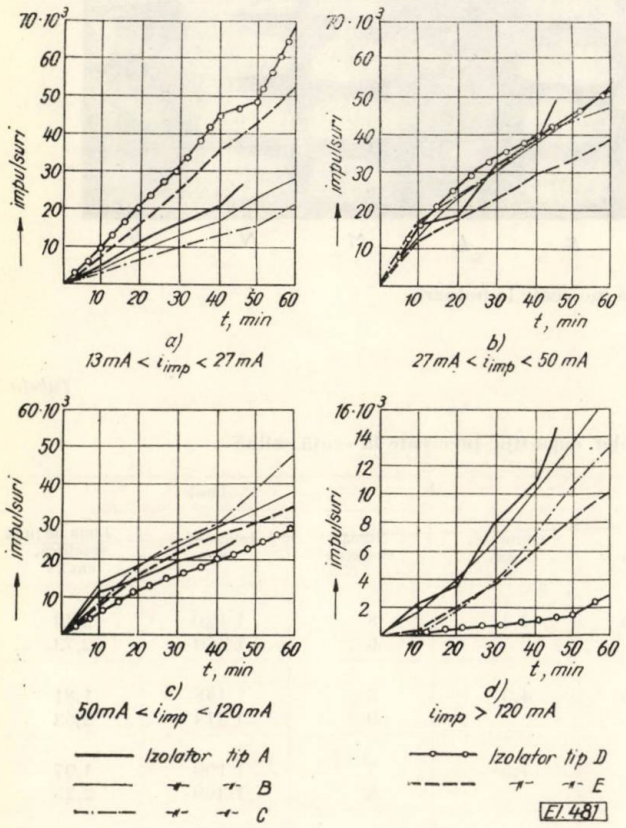


Fig. 7. Variația în timp a numărului impulsurilor curentului de fugă la încercarea izolatoarelor Langstab. Salinitate 14 g/l

$$i \geqslant 233\, E_c^{-1,31},\ \text{A}$$

unde E_c este solicitarea specifică în V_{max} /cm [9].

Confruntarea criteriului ținerii cu criteriul impulsurilor curentului de fugă s-a făcut nu pentru a obține informații suplimentare la încercarea izolatoarelor curate, ci pentru a calibra această metodă de investigare și a o utiliza la încercările combinate.

3.2. Încercarea lanțurilor de izolatoare capă-tijă. Cele 10 tipuri de izolatoare încercate cuprind elemente capă-tijă străine, normale (tip L și J) și antipoluare (tip G și F) și izolatoare autohtone normale (tip O) și prototipuri antipoluare executate de I.C.P.E. și Electroceramica Turda (tip N, M, K, I, H).

Numărul elementelor din lanț s-a ales astfel ca lungimea constructivă a lanțului să fie aproximativ egală cu lungimea izolatoarelor Langstab pentru a face posibilă compararea performanțelor. Forma izolatoarelor și lanțurile încercate sînt arătate în figura 8 a și 8 b, iar caracteristicile constructive în tabela 3.

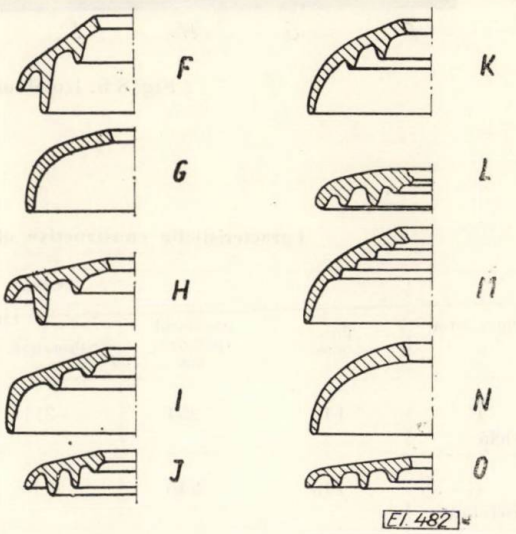


Fig. 8 a. Profilul izolatoarelor capă-tijă încercate la poluare.

Rezultatele încercării pentru determinarea salinității maxime de ținere se dau în tabela 4.

Comportarea cea mai bună au avut-o izolatoarele tip F : 40 g/l salinitate maximă de ținere. Aceasta vine să confirme rezultatele foarte bune obținute de acest profil de izolator realizat din sticlă sau din porțelan, la încercările la poluare în alte laboratoare. Prototipul „H" cu o formă asemănătoare, nu a putut realiza aceeași performanță în lanț din cauza pasului mare, 170 mm, lanțul fiind limitat la 8 elemente. Izolatoarele „bord de mer" tip G și I au arătat de asemenea calități remarcabile la ceață salină. Tipul de izolator „O" care are cea mai mică linie de fugă specifică, 1,57 cm / kV la 8 elemente, nu se dovedește apt nici pentru zone de poluare medie.

Pentru clasificarea izolatoarelor care au dat aceeași salinitate de ținere după criteriul conturnării în treptele de salinitate recomandate de CEI, s-a recurs la analiza impulsurilor curentului de fugă de amplitudine mai mare de 120 mA, ca, de exemplu, la tipurile G, K, I, L (fig. 9).

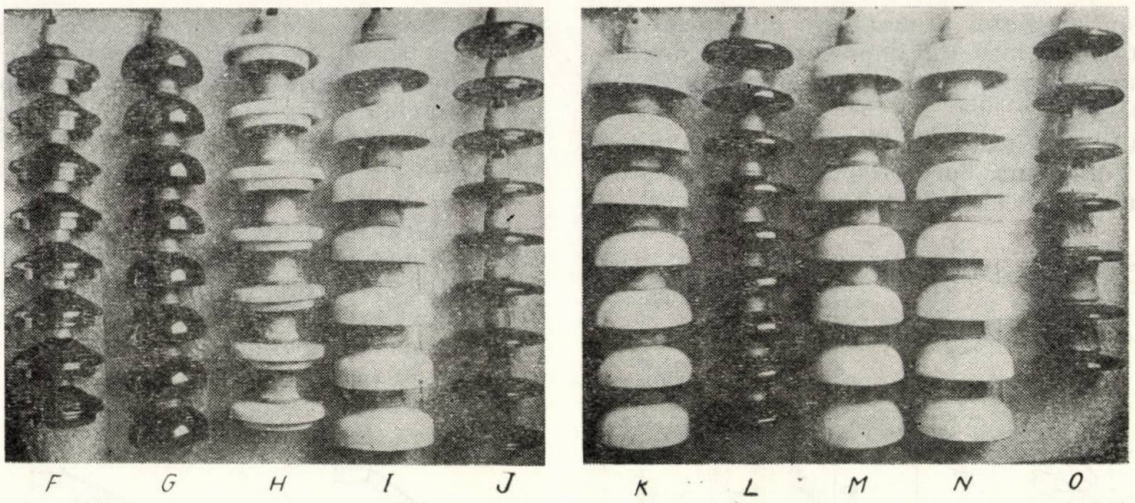


Fig. 8 b. Izolatoarele capă-tijă încercate la poluare.

Tabela 3

Caracteristicile constructive ale izolatoarelor capă-tijă încercate la ceață salină

Tip izolator	Element					Lanț		
	Pas, mm	Diametrul pălăriei, mm	Linia de fugă		Greutate, kg	Număr elemente	Lungime, mm	Linia de fugă specifică, cm/kV
			Protejată, mm	totală mm				
F sticlă	140	254	211	380	4,5	8 9	1 120 1 260	2,43 2,73
G porțelan	146	240	140	280	4,3	8 9	1 168 1 314	1,81 2,03
H porțelan	170	280	200	350	7,5	7 8	1 190 1 360	1,97 2,25
I porțelan	170	280	215	375	8,5	7 8	1 190 1 360	2,12 2,42
J sticlă	140	254	185	300	3,5	9 10	1 260 1 400	2,16 2,42
K porțelan	170	280	200	360	8,1	7 8	1 190 1 360	2,02 2,32
L porțelan	130	254	180	270	5,3	9 10	1 170 1 300	1,96 2,18
M porțelan	170	280	173	331	7,8	7 8	1 190 1 360	1,87 2,12
N porțelan	170	280	165	323	7,9	7 8	1 190 1 360	1,83 2,09
O porțelan	170	280	144	244	6,8	7 8	1 190 1 360	1,38 1,57

Din analiza rezultatelor din tabela 4 reiese, de asemenea, importanța mare pe care o are lungimea liniei de fugă la poluare. Astfel, lanțurile din izolatoare de tip normal L și J, deși nu au un profil antipoluare, au arătat o comportare satisfăcătoare datorită pasului mic, 130 — 140 mm, care a permis lanțului o linie de fugă specifică mai mare de 2 cm/kV.

Salinitatea maximă de ţinere la ceaţă salină a lanţurilor de izolatoare capă-tijă *Tabela 4*

Tipul izolator	Nr. elemente	Salinitate, g/l									
		56	40	28	20	14	10	7	5	3,5	2,5
F	8	50 11	T 51 55	T T T							
	9	T 50 21	T T T								
G	8					28 34	T T 19 T				
	9				1 24	6 T T T					
H	7					50 T 58	T T T				
	8				27 30	T T T					
I	7				8 4	26 8	T T T				
	8		8 12	27 17	10 13	T T T					
J	9				22 8	33 30	T T T				
	10				39 45	T T 55 T					
K	7				8 4	35 26	T T T				
	8			55 17	34 15	7 47	T T T				
L	9					57 32	56 T T T				
	10				12 10	51 55	T T T				
M	7							40 23	T T T		
	8					10 8	12 18	T T 55 T			
N	7					2 2	3 4		29 21	T T T	
	8						20 3	T T 47 T			
O	7								48 44	T 18 T 3	40 T T T
	8							9 2	T T 48 T		

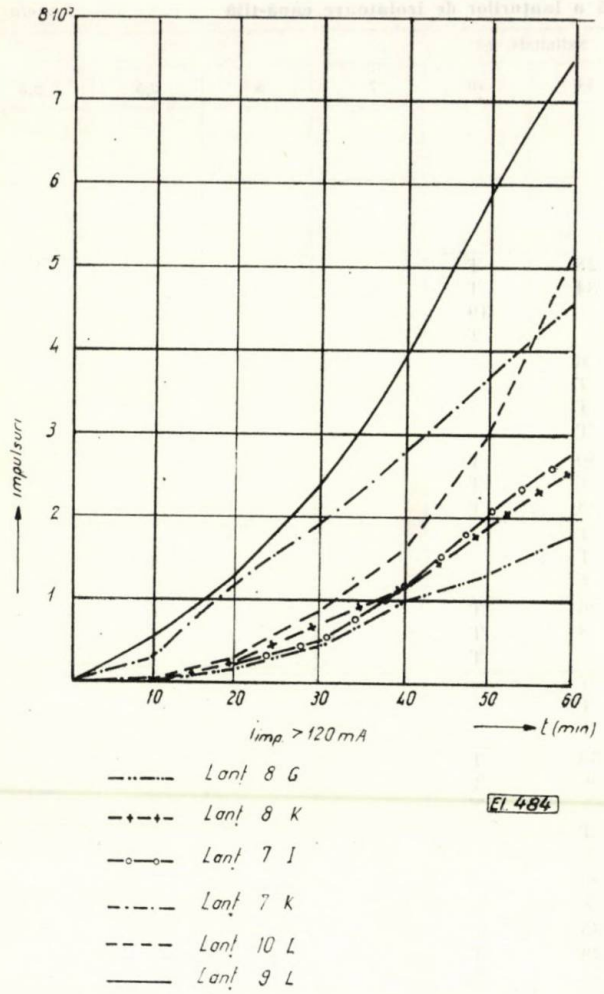


Fig. 9. Variaţia în timp a numărului impulsurilor curentului de fugă la încercarea izolatoarelor tip capă-tijă. Salinitate maximă de ţinere 10 g/l.

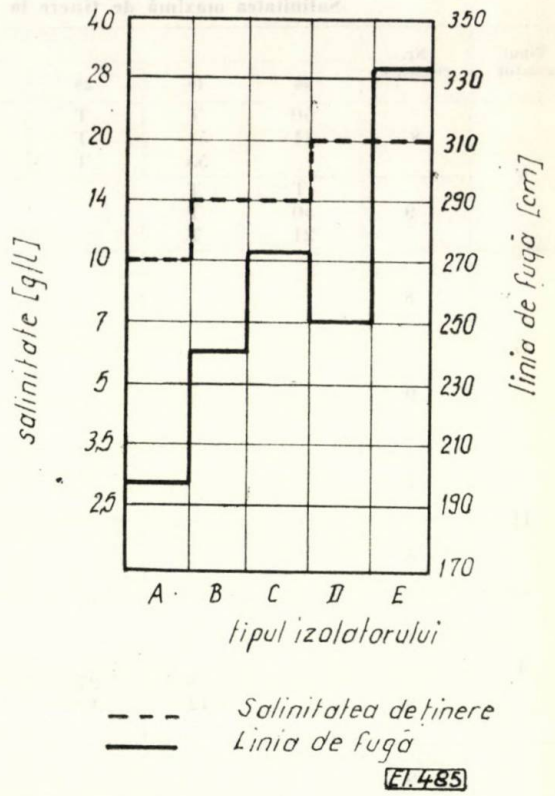


Fig. 10. Salinitatea de ţinere comparată cu lungimea liniei de fugă pentru izolatoarele Langstab încercate la ceaţă salină.

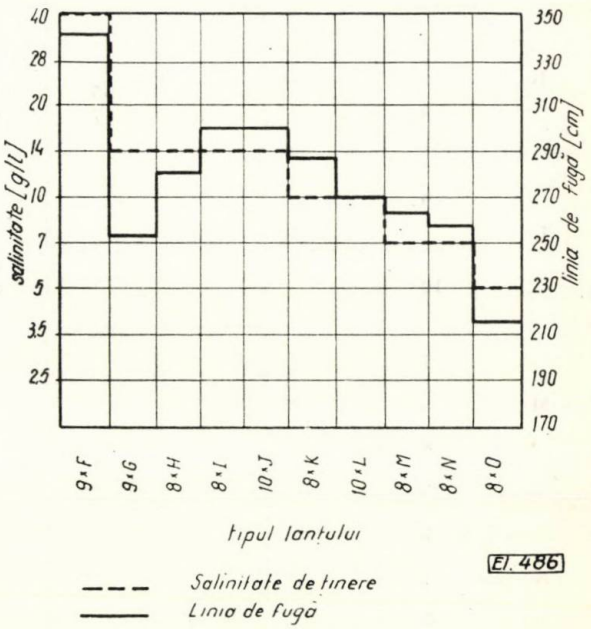


Fig. 11. Salinitatea de ţinere comparată cu lungimea liniei de fugă pentru izolatoarele capă-tijă încercate la ceaţă salină.

În figurile 10 şi 11 se dă, pentru izolatoare Langstab şi respectiv izolatoare capă-tijă, o apreciere a comportării la poluare cu ceaţă salină după criteriul conturnării în comparaţie cu lungimea liniei de fugă. Rezultă rolul determinant al lungimii liniei de fugă, dar şi faptul că valorificarea liniei de fugă se realizează în cadrul ansamblului parametrilor geometrici ai izolatorului care definesc o formă adecvată antipoluare.

4. Incercări combinate pe izolatoare poluate în exploatare

În colaborare, I.R.M.E. şi I.C.P.E., au executat în anii 1967 — 1971 încercări pe 150 de izolatoare de suspensie de 110 kV supuse la poluare industrială. Izolatoarele expuse au cuprins cele 15 tipuri încercate la ceaţă salină şi lanţuri de tipul VZM. Locul şi perioada de expunere, agenţii poluanţi şi modul de tratare a izolatoarelor sînt indicate în tabela 5.

Tabela 5

Materialul de protecție	Anul	Locul de expunere	Agenți poluanți
a, b, h,	1966–1967; 1968	LEA 110 kV, Combinatul Chimic Tîrnăveni	Praf carbid, sulfați, cenușă, clor, $\gamma = 1\,000 \mu Scm^{-1}$ 100 g/m² în 30 zile
a, b, h,	1966–1967	Stația 100 kV Hunedoara	Oxizi de fier, magneziu, aluminiu, calciu, bioxid de sulf; 200 g/m² în 30 zile
a, b, h,	1966–1967	Stația 110 kV Reșița	Oxizi de fier, calciu, funingine 115 g/m² în 30 zile; 4 mg/m³ gaze
a, b, c, d, h,	1968; 1968–1969	Stația 110 kV, stația înnobilare minereu Teliuc	Praf minereu fier, praf cărbune 1 200 g/m² în 30 zile
a, b, c, d, e, f, g,	1968; 1969; 1970; 1971;	Stația 110 kV, Combinatul de hîrtie și celuloză Chișcani	Produse sodice provenite din arderea leșiilor 50g/m² în 30 zile $\gamma = 1\,850 \mu S\ cm^{-1}$
d, f, g, h,	1970; 1971;	Stația de 110 kV Turda	Praf ciment, clor
d, f, g, h,	1970; 1971;	Stația de 110 kV Dej	Produse sodice
d, f, g, h, e,	1970; 1971;	Stația 110 kV Turnu Măgurele	Cenușă de pirită, bioxid de sulf, amoniac
d, h,	1970; 1971;	Stația 110/220 kV CET Ișalnița	Cenușă, oxizi de azot, amoniac
h.	1971	Stația 110 kV Medgidia	Praf ciment

a – vaselină siliconică F 4 203 W; *e* – vaselină minerală IRFA–SA;
b – „ minerală C; *f* – „ WT 185;
c – „ „ R_3; *g* – „ „ WT 165;
d – „ „ IRFA; *h* – neprotejat.

Perioada de expunere a variat între 6 luni și 1 an, izolatoarele recoltîndu-se înaintea sezonului ploios de toamnă.

Încercarea în laborator s-a făcut după metoda „cu tensiune constantă" în următoarele condiții:

– tensiunea de încercare $U = 72$ kV;

– durata probei $t = 60$ min.:

– conductivitatea soluției $\gamma = 5\,000\ \mu Scm^{-1} \pm 20\ \%$.

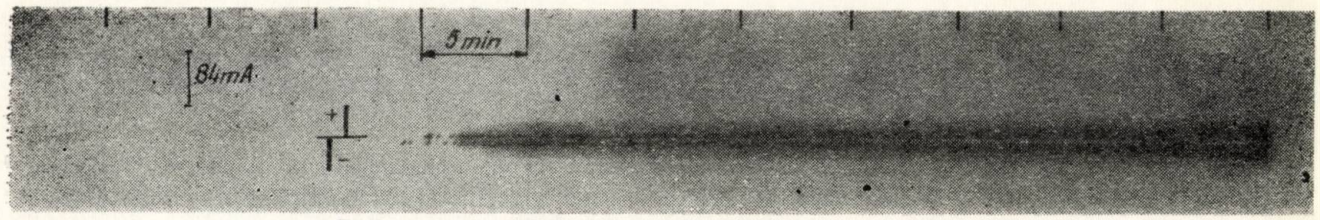
S-a înregistrat continuu curentul de fugă. Criteriul de apreciere a fost evoluția curentului de fugă și conturnarea, atunci cînd aceasta a avut loc.

Cercetarea a urmărit obținerea de date în trei direcții: performanța izolatorului, eficacitatea protecției, severitatea zonei.

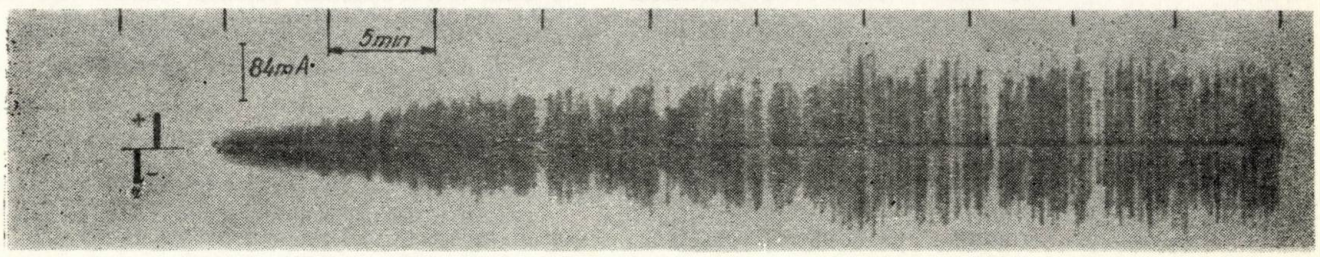
4.1. Comportarea la poluare a izolatoarelor neprotejate. Încercările au arătat că, indiferent de zona de expunere, cea mai bună comportare au avut-o lanțurile din elemente capă-tijă VZM și izolatoarele Langstab cu 21 de rile. Izolatoarele normale cu linia de fugă specifică mai mică de 1,7 cm/kV au conturnat în majoritatea încercărilor (Langstab) cu 14 rile și capă-tijă normală. Ca și la încercările artificiale, izolatorul Langstab cu 16 rile a dat rezultate bune mai ales în regiuni cu depuneri mari de pulberi cum ar fi: Turda, Medgidia. Comportarea sa bună la o linie de fugă specifică moderată (2 cm/kV) se explică prin distanța mare între rile care favorizează autocurățirea.

4.2. Eficacitatea mijloacelor de protejare a suprafeței izolatoarelor. Aprecierea s-a făcut după amplitudinea impulsurilor curentului de fugă, numărul de impulsuri de amplitudine mare, timpul necesar umezirii izolatorului și apariției primelor impulsuri, aspectul vaselinei ca duritate a crustei, aderență la glazură, saturație cu impurități.

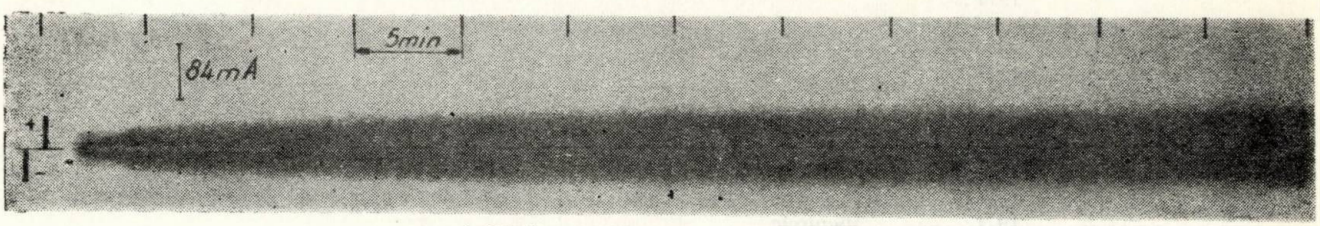
Vaselina siliconică oferă o protecție în general bună, chiar în straturi subțiri (mai mici decît 0,5 mm) în regiuni cu depuneri granulare moderate (de exemplu, zona Chișcani), stratul de vaselină fiind după 10 luni hidrofob, moale, ușor de curățat. În figura 12 osc. 237 se vede nivelul redus



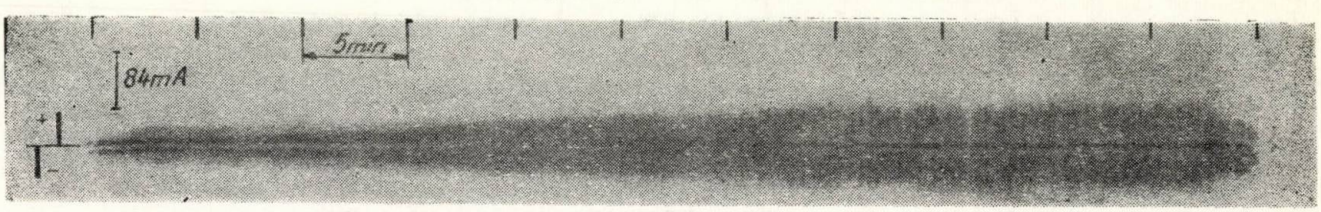
a) Protecţie cu vaselină siliconică F 4203W Osc. 237



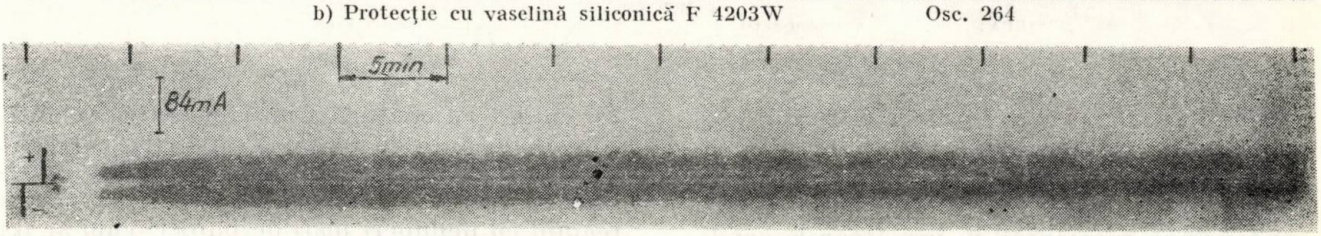
a) Protecţie cu vaselină minerală C Osc. 238



a) Fără protecţie Osc. 239



b) Protecţie cu vaselină siliconică F 4203W Osc. 264



b) Fără protecţie Osc 266

Fig. 12. Curentul de fugă la încercarea izolatorului Langstab cu 16 rile (tip D):
a — staţia 110 kV Chişcani; b — staţia 110 kV Teliuc.

al curentului de fugă la protejarea cu vaselină siliconică comparativ cu izolatorul neprotejat.

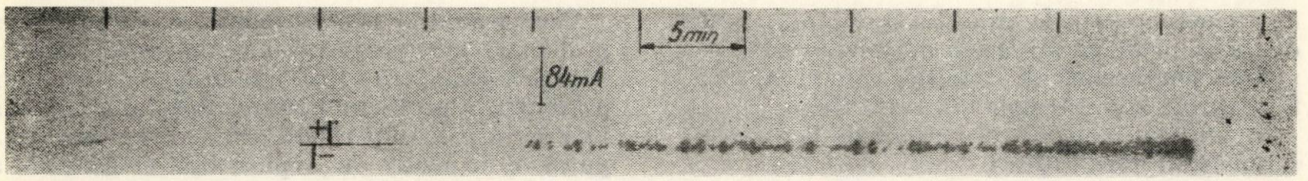
Calităţile bune, ca plajă de temperatură de lucru (— 50°C ÷ + 200°C), efect amoebic rapid, nu compensează preţul ridicat al compoundului siliconic, de circa 30 de ori mai scump ca vaselina minerală, şi nu o recomandă la utilizare în regiuni cu depuneri abundente. De altfel în zona Teliuc cu depuneri de 1 200 g/m² în 30 de zile, izolatoarele cu vaselină siliconică au dat rezultate slabe aşa cum se vede, de exemplu, în figura 12 osc. 264, 266.

Vaselinele minerale autohtone s-au comportat în ordine crescătoare de la tipul C care a dat rezultate slabe (în fig. 12 osc. 238 şi 239 se vede că izolatorul tratat cu vaselină C s-a comportat mai slab chiar ca un izolator netratat) la tipurile R_3, IRFA, IRFA-SA (ultima, rezultat al colaborării dintre IRME şi ICPŢ), dînd rezultate mai bune ca tipul străin WT 165.

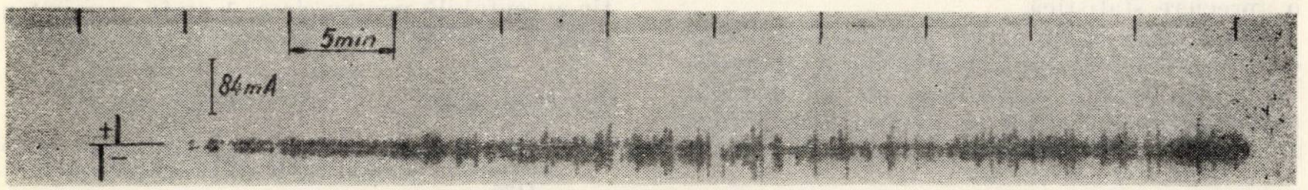
Dintre vaselinele minerale străine, tipul WT 185 s-a comportat mai bine decît vaselina IRFA. Umezirea stratului de impurităţi a început mai tîrziu la WT 185 ca urmare a conservării proprietăţilor hidrofobe.

Impulsurile maxime ale curentului de fugă au avut amplitudini mai mici aşa cum se vede în figura 13 osc. 35, 34, 20, 19.

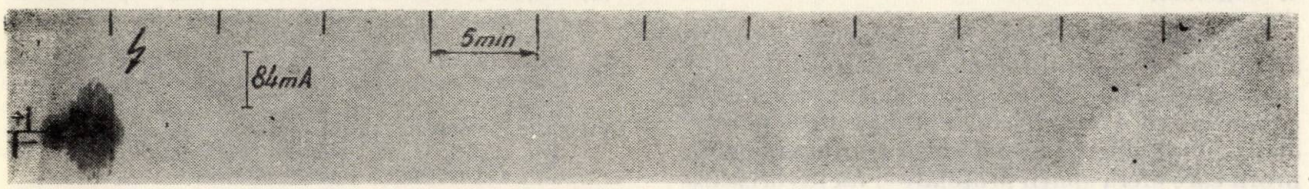
Din încercări a rezultat că pentru o vaselină corespunzătoare ca temperatură de lucru, vîscozitate şi aderenţă, durata de serviciu este funcţie de cantitatea de depuneri din zona de exploa-



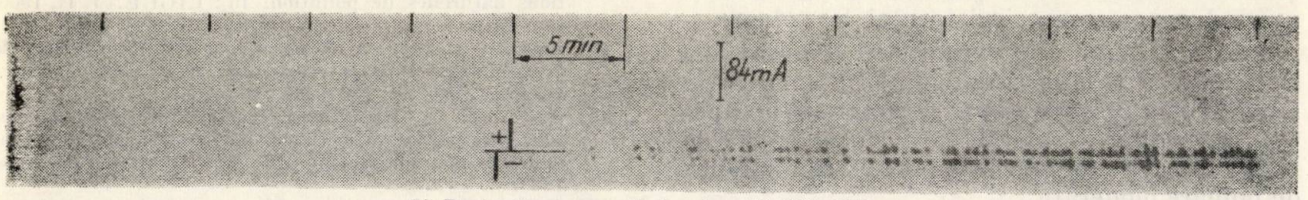
a) Protecţie cu vaselină minerală WT 185 Osc.35



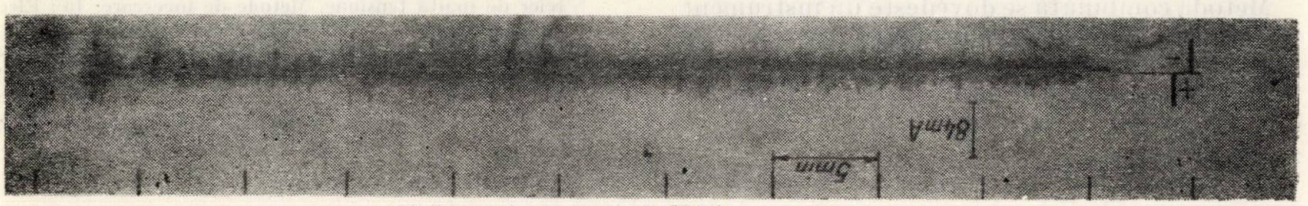
a) Protecţie cu vaselină minerală IRFA Osc. 34



a) Fără protecţie Osc. 27



b) Protecţie cu vaselină minerală WT 185



b) Protecţie cu vaselină IRFA

Fig 13. Curentul de fugă la încercarea lanţului din 8 izolatoare capă tijă normală (tip O):
a – staţia 110 kV Chişcani; *b* – staţia 110 kV Turnu Măgurele.

tare. Dată fiind dificultatea operaţiei de curăţire şi înlocuire a vaseliniei, se recomandă o grosime a stratului de 3—5 mm, acesta asigurînd o durată de serviciu de circa 1—2 ani în funcţie de intensitatea şi natura depunerilor. Straturile de grosimi mai mari riscă desprinderea şi alunecarea de pe izolatoare.

4.3. Severitatea poluării în zonele de expunere a izolatoarelor. S-ar părea că se pot face aprecieri comparative asupra gravităţii poluării din diferite zone după rezultatele încercării pe aceleaşi tipuri de izolatoare protejate şi neprotejate. Astfel în 1967 zona Tîrnăveni a reieşit ca fiind mai grav poluată în comparaţie cu Reşiţa şi Hunedoara. În 1968 izolatoarele recoltate din zona Teliuc au dat rezultate mai slabe ca cele de la Chişcani şi Tîrnăveni. În 1969, 1970, 1971 a rezultat că zona cea mai periclitată este Chişcani cu o poluare mixtă electrolitică şi granulară, dificilă pentru unsorile minerale. În 1971 a reieşit că zonele Turda şi Medgidia sînt mai periculoase decît Işalniţa şi Turnu Măgurele.

Practica exploatării nu confirmă însă toate aceste rezultate şi nepotrivirile se datoresc unor cauze cum ar fi:

a) metoda utilizată defavorizează unele tipuri de poluări. Izolatoarele recoltate din zone cu depuneri mari de praf de ciment, care au o mare capacitate de absorbţie, sînt umezite abundent cu ceaţă cu o conductivitate relativ mare. Rezultatul este creearea unor condiţii grele pentru izolatorul încercat, în timp ce în natură, dacă în zona fabricii de ciment nu există şi emanaţii gazoase, acide, etc., izolatoarele suportă fără conturnare cimentul.

În opoziţie cu rezultatele pesimiste care s-au obţinut în cazul de mai sus, izolatoarele recoltate de la Işalniţa cu un strat de impurităţi neînsemnat, nu sînt supuse la condiţii deosebit de grele în camera de ceaţă, neexistînd elementul

de reținere a ceții. În practică însă cînd o ceață densă coincide cu emanații de acizi și gaze pot apărea conturnări ale izolației din acea zonă, fapt care s-a și întîmplat în realitate;

b) regimul meteo-local variază de la an la an, influențînd rezultatele;

c) numărul de izolatoare încercate nu permite o apreciere statistică.

Considerăm că aprecierea gravității unei zone este bine să se facă după observațiile și măsurătorile rezultate din exploatare, un rol deosebit avînd stațiile de măsurare a curentului de fugă amenajate la fața locului.

5. Concluzii

Încercările artificiale pe izolatoare curate făcute în laborator după metoda ceții saline, sînt reproductibile și oferă date pentru aprecierea comparativă a izolatoarelor supuse unei poluări de tip electrolitic. Linia de fugă conjugată cu un profil care oferă spații protejate și nu favorizează șuntarea rilelor este parametrul definitoriu privind comportarea izolatorului la poluare.

Rezultate bune s-au obținut atît la încercarea artificială cît și la cea combinată la izolatoarele Langstab cu 21 și 16 rile și la izolatoarele capătijă antipoluare. Izolatoarele normale cu linie de fugă sub 1,7 cm/kV nu fac față unor condiții de poluare moderată.

Metoda combinată se dovedește un instrument util pentru aprecierea eficacității unsorilor de protecție și oferă date asupra comportării izolatoarelor, care pot fi acceptate pentru comparația diferitelor tipuri constructive.

Considerînd aspectul tehnic și economic al problemei rezultă că vaselina siliconică nu este indispensabilă, vaselina minerală asigurînd, în principiu, o protecție eficace. Rețeta autohtonă IRFA-SA este superioară celor anterioare și va putea fi utilizată în exploatare. O grosime a stratului de vaselină de 3—5 mm oferă o protecție acceptabilă pentru circa 1 an în zone intens poluate granular.

Bibliografie

[1] *Lambeth, P. J.* Effect of pollution on high-voltage outdoor insulators. În: Proc. IEE, **118**, nr. 9, sept., 1971, p. 1107—1130.

[2] *Ely, C.* și *Lambeth, P. J.* An artificial — pollution test for high-voltage outdoor insulators. În: Proc. IEE. **111**, nr. 5, 1964, p. 991—998.

[3] Lambeth, *P. J.* ș.a. Méthode d'essai d'isolateurs sous brouillard salin artificiel. În: Rap. 2508, CIGRÉ, iunie, 1968.

[4] CEI, 36 (Bureau Central), 43, febr., 1971. Essais de pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux reseaux à courant alternatif.

[5] *Reverey, G.* și *Stolte, E.* Essais d'isolateurs dans des conditions naturelles de pollution. În: CIGRÉ, T II, 1960, rap. 210.

[6] *Leroy, G.* și *Desprès, P.* Essai sous pollution artificielle des isolations type extèrieur. În: Rev. Gén. d'Electr., **76**, nr. 2, 1967, p. 186—200.

[7] *Baatz, H.* ș.a. Expérience récente d'exploitation des isolateurs pollués et méthodes d'essais, permetant d'evaluer leur pouvoir isolant. În: CIGRÉ, rap. **212**, iunie, 1964.

[8] *Vascan, Th.* și *Andreescu, M.* — Contaminarea izolatoarelor de înaltă tensiune. Metode de încercare. În: Electrotehnica, **17**, nr. 2, februarie, 1969, p. 61—73.

[9] *Alston, L.* și *Zoledziovski, S.* Grouth of discharges on polluted insulation. În: Proc. IEE, **110**, nr. 7, 1963, p. 577—585.

Intrat în redacție la 17.V.1972

Performanțele divizorului de tensiune mixt, serie R-C.

GHEORGHE HORTOPAN* — București

CZ 621.317.32.015.33:621.316.57.064.31

Măsurarea tensiunilor înalte, cu conținut mare de armonice, se efectuează cu ajutorul divizorului de tensiune care transmite osciloscopului catodic semnalul captat în ramura de joasă tensiune a divizorului.

Pentru măsurarea tensiunilor de impuls, pînă la aproximativ 1,5 MV, divizorul de tensiune rezistiv ecranat [1], [2] reprezintă o soluție satisfăcătoare din punct de vedere tehnic și economic. Se poate obține astfel un timp de răspuns suficient de mic, de aproximativ 20—30 ns, cu un consum redus de material rezistiv. Caracteristic divizorului destinat a măsura tensiuni de impuls de 1,2/50 μs este solicitarea termică de scurtă durată. Și solicitarea dielectrică este de scurtă durată.

Aspecte diferite apar la măsurarea tensiunii tranzitorii de restabilire, cu ocazia încercării întreruptoarelor de înaltă tensiune. În adevăr în acest caz durata solicitărilor termică și dielectrică este sensibil mai mare, iar exigența în ce privește timpul de răspuns, sau caracteristica de frecvență, este mai mică. Divizorul de tensiune rezistiv ecranat nu își găsește utilizare, în aceste condițiuni, întrucît solicitarea termică constituie factorul prohibitiv pentru o construcție economică. În schimb o bandă de frecvență de 200 kHz este satisfăcătoare avînd în vedere performanțele osciloscoafelor catodice cu desfășurare mecanică a bazei de timp, aparate care se folosesc pentru înregistrarea tensiunii tranzitorii de restabilire.

În acest scop, al înregistrării tensiunii tranzitorii de restabilire, utilizarea divizorului de tensiune mixt-serie RC prezintă avantaje impor-

* Dr. ing. *G. Hortopan* este profesor la Institutul Politehnic din București.

tante. În cele ce urmează se prezintă patru variante de scheme și se analizează performanțele lor intrinsece pe baza timpului de răspuns sau a caracteristicii de frecvență. Nu intră în obiectivul studiului de față aspectele extrinseci, adică datorite fenomenelor de propagare pe ramurile de înaltă și joasă tensiune ale divizorului.

1. Schema de bază

Divizorul de tensiune ideal este cel capacitiv deoarece, prin folosirea unor condensatoare cu dielectric superior, timpul de răspuns al sistemului de măsură este zero, iar banda de frecvență care trece prin sistem este cuprinsă între zero și infinit. Totuși un divizor pur capacitiv nu poate fi folosit ca atare din cauza inductivității conexiunilor și deci a formării astfel a unui sistem cu două acumulatoare de energie, sistem dispus să oscileze pe frecvența proprie. Apare astfel necesitatea introducerii unei amortizări, care în mod concret se realizează cu ajutorul unor rezistențe conectate în serie cu capacitățile divizorului de tensiune. Amortizarea se poate realiza și cu rezistențe conectate în paralel [3] dar, în acest mod, se reintroduce problema solicitărilor termice pentru aceste rezistențe.

În figura 1 se prezintă *schema electrică* de bază a divizorului de tensiune mixt serie RC. Brațul de înaltă tensiune este format din rezistența R_1 și capacitatea C_1, iar cel de joasă

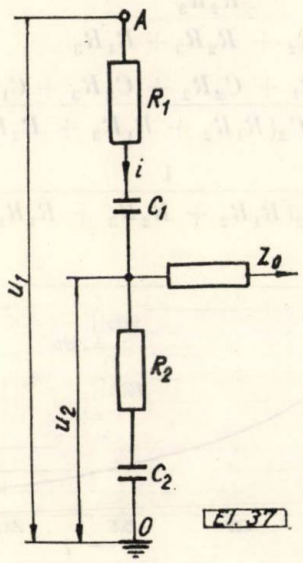


Fig. 1. Schema de bază a divizorului mixt-serie RC.

tensiune din rezistența R_2 și capacitatea C_2. Divizorul de tensiune se conectează la *plăcile* osciloscopului catodic prin intermediul unui cablu coaxial. În acest caz este necesar ca acest cablu să se conecteze la divizor prin intermediul unei rezistențe egală în valoare cu impedanța caracteristică Z_0 a cablului de măsură.

Ecuațiile de funcționare privind tensiunea de intrare u_1 și tensiunea de ieșire u_2 sînt

$$\left.\begin{aligned} u_1 &= R_1 i + \frac{1}{C_1}\int_0^t i\,dt + u_2 \\ u_2 &= R_2 i_2 + \frac{1}{C_2}\int_0^t i\,dt. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

1.1. Răspunsul la excitația treaptă. La excitarea divizorului cu tensiunea treaptă $u_1 = U$, răspunsul rezultă

$$u_2 = U\frac{C}{C_2}\left[1+\left(\frac{\tau_2}{\tau}-1\right)e^{-\frac{t}{\tau}}\right] \quad (2)$$

unde

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1+C_2}; \qquad R = R_1 + R_2$$

$$\tau = RC;\ \tau_2 = R_2 C_2;\ \tau_1 = R_1 C_1.$$

Răspunsul poate lua una din următoarele trei forme :

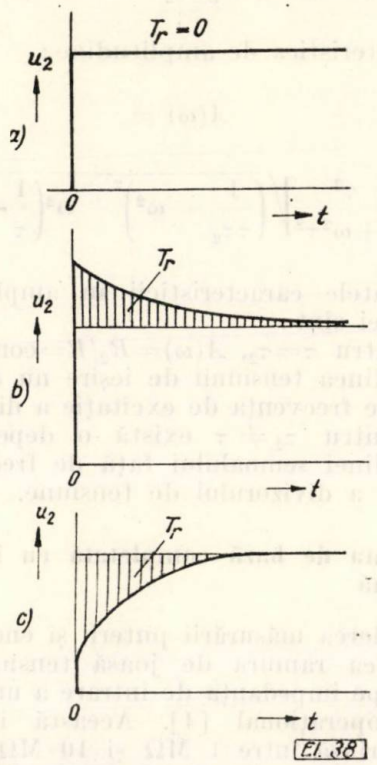


Fig. 2. Răspunsul la excitația treaptă a schemei de bază :
a) $\tau = \tau_2$;
b) $\tau_2/\tau > 1$;
c) $\tau_2/\tau < 1$.

a) Pentru aceeași constantă de timp în brațul de înaltă tensiune și în brațul de joasă tensiune adică pentru :

$R_1C_1 = R_2C_2 = RC = \tau$ se obține

$$u_2 = \frac{R_2}{R}U. \quad (3)$$

Adică, răspunsul este compensat de forma treptei ca în figura 2 a, și deci cu timpul de răspuns zero.

b) Pentru $\tau_2/\tau > 1$ se obține un răspuns subcompensat, ca în figura 2, b.

c) Pentru $0<\tau_2/\tau<1$ rezultă un răspuns subcompensat, ca în figura 2 c.

La un divizor de tensiune compus din module RC, identice și la care se practică o priză, pentru măsurarea în joasă tensiune, răspunsul este întotdeauna compensat.

La un divizor format din două sau mai multe elemente eterogene există posibilitatea de a avea oricare din cele trei tipuri de răspunsuri.

1.2. Caracteristica de frecvență. Această caracteristică oferă posibilități mai largi de apreciere a variantelor de schemă. Funcția de transfer a schemei din figura 1 este:

$$H(p) = \frac{R_2}{R}\cdot\frac{p+1/\tau_2}{p+1/\tau} \tag{4}$$

unde $\tau_2 = R_2C_2$ și $\tau_1 = R_1C_1$. De aici rezultă caracteristica de frecvență:

$$H(j\omega) = \frac{R_2}{R}\cdot\frac{\tau^2}{1+\omega^2\tau^2}\left[\frac{1}{\tau\tau_2} + \omega^2 + j\omega\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_2}\right)\right] \tag{5}$$

cu caracteristica de amplitudine:

$$A(\omega) = \frac{R_2}{R}\cdot\frac{\tau^2}{1+\omega^2\tau^2}\sqrt{\left(\frac{1}{\tau\tau_2} + \omega^2\right)^2 + \omega^2\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_2}\right)^2} \tag{6}$$

Variantele caracteristicii în amplitudine a frecvenței sînt:

a) pentru $\tau=\tau_2$, $A(\omega)=R_2/R=$const. și deci amplitudinea tensiunii de ieșire nu este influențată de frecvența de excitație a divizorului;

b) pentru $\tau_2 \neq \tau$ există o dependență a amplitudinei semnalului față de frecvența de excitație a divizorului de tensiune.

2. Schema de bază completată cu impedanța de sarcină

În vederea măsurării puterii și energiei este necesar ca ramura de joasă tensiune să se închidă pe impedanța de intrare a unui amplificator operațional [4]. Această impedanță este cuprinsă între 1 MΩ și 10 MΩ. Schema electrică a dispozitivului de măsură este dată în figura 3. Proprietățile acestei scheme rezultă din analiza răspunsului la excitația cu treapta de tensiune și din caracteristica de frecvență.

2.1. Răspunsul la excitația treaptă de tensiune. Ecuațiile schemei, cu notațiile din figura 3, sînt:

$$\left.\begin{aligned} u_1 &= R_1i_1 + \frac{1}{C_1}\int_0^t i_1\,dt + R_3i_3 \\ i_1 &= i_2 + i_3 \\ R_2i_2 + \frac{1}{C_2}\int_0^t i_2\,dt &= R_3i_3 = u_2. \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

Prin rezolvarea acestui sistem de ecuații diferențiale, pentru excitația treaptă de tensiune, adică $u_1 = U$, se obține:

$$u_2 = \alpha U e^{-\delta t}\left[\cos h\omega_e t + \left(\frac{1}{\omega_2\tau_2} - \frac{\delta}{\omega_e}\right)\sin h\omega_e t\right] \tag{8}$$

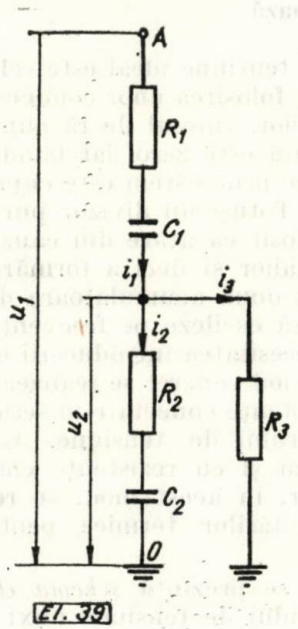


Fig. 3. Schema de bază completată cu impedanța de sarcină

unde s-a notat

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \frac{R_2R_3}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3} \\ \delta &= \frac{C_1R_1 + C_2R_2 + C_2R_3 + C_1R_3}{2C_1C_2(R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3)} \\ \omega_0^2 &= \frac{1}{C_1C_2(R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3)}. \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

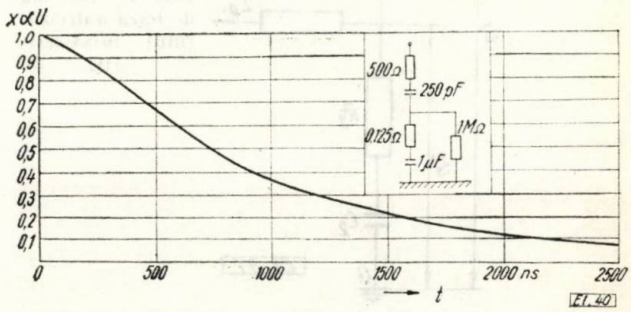


Fig. 4. Răspunsul la excitația treaptă pentru schema din figura 3

În figura 4 se prezintă răspunsul la excitația treaptă pentru schema din figura 3, în care s-au considerat următoarele valori: $R_1 = 500\Omega$; $C_1 = 250$ pF; $R_2 = 0{,}125\ \Omega$; $C_2 = 1\mu$F; $R_3 = 1$ MΩ. Se observă că datele au fost astfel

alese încît $R_1C_1 = R_2C_2 = RC$ adică să se satisfacă condiția de compensare a schemei de bază. Timpul corespunzător schemei din figura 3 și deci și curbei din figura 4 rezultă a fi infinit, ceea ce confirmă faptul că criteriul de calitate al unui sistem de măsură nu poate fi luat timpul de răspuns, dacă răspunsul nu este de tip exponențial sau oscilant amortizat.

2.2. Caracteristica de frecvență. Pentru aprecierea calității sistemului de măsură cu schema din figura 3, rămîne deci numai caracteristica de frecvență. Funcția de transfer corespunzătoare schemei din figura 3 este:

$$H(p) = \alpha \frac{p^2 + p/\tau}{p^2 + 2p\delta + \omega_0^2}, \qquad (10)$$

cu caracteristica de frecvență:

$$H(j\omega) = \frac{\alpha\left(-\omega^2 + j\frac{\omega}{\tau}\right)}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2\omega\delta j}, \qquad (11)$$

și caracteristica de frecvență a amplitudinii:

$$A(\omega) = \frac{\alpha\sqrt{[(\omega_0^2-\omega_0^2)\omega^2+2\omega^2\delta/\tau]^2+[(\omega_0^2-\omega^2)\omega/\tau+2\omega^3\delta]^2}}{(\omega_0^2-\omega)^2+4\omega^2\delta^2}. \qquad (12)$$

Examinarea relației (12) conduce la concluzia că acest tip de divizor nu este utilizabil pentru măsurarea tensiunii continue căci în acest caz $\omega = 0$ și $A(0) = 0$. Pentru frecvențe mai mari

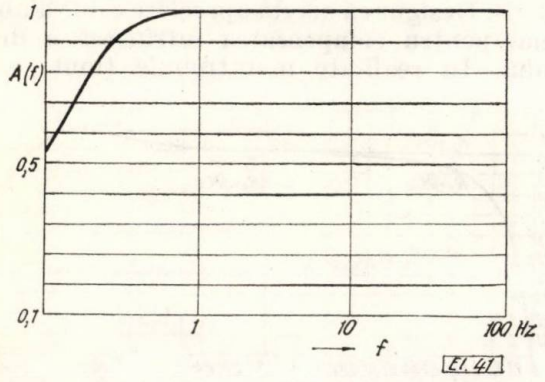


Fig. 5. Caracteristica de frecvență a divizorului din figura 3.

de 1Hz acest divizor este utilizabil, în ipoteza datelor indicate la paragraful 2.1, după cum se arată în figura 5, în care s-a trasat caracteristica de frecvență a amplitudinii.

3. Schema de bază completată cu inductivitatea buclei de înaltă tensiune

Schemele prezentate la capitolele 1 și 2 reprezintă situații extreme, puțin întîlnite în practică, dar utile pentru cercetarea proprietăților intrinseci.

Dacă se consideră cazul concret al încercării unui întreruptor de înaltă tensiune, este clar că bucla, în care este introdus divizorul de tensiune și aparatul care se încearcă, prezintă o inductivitate apreciabilă. Pînă în prezent nu este posibil a se executa montaje coaxiale, pe partea de înaltă tensiune pentru măsurarea tensiunii tranzitorii de restabilire. În bucla de joasă tensiune legătura se execută cu cablul coaxial, ceea ce determină reducerea la minimum a inductivității în această buclă.

Aprecierea inductivității buclei dreptunghiulare de înaltă tensiune se face cu relația generală [5]:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + 2(M_{12} + M_{34})$$

care explicitată, pe baza figurii 6 a, devine:

$$L = \frac{\mu_0 a}{2\pi}\left[\frac{\mu_r}{2} + 2\ln\frac{b}{r}\right] + \frac{\mu_0 b}{2\pi}\left[\frac{\mu_r}{2} + 2\ln\frac{a}{r}\right]. \qquad (13)$$

În figura 6 b s-a trasat curba inductivității pentru o latură $a = 1$m, raza conductorului 0,01m și latura b variabilă pînă la 4,5 m. Se

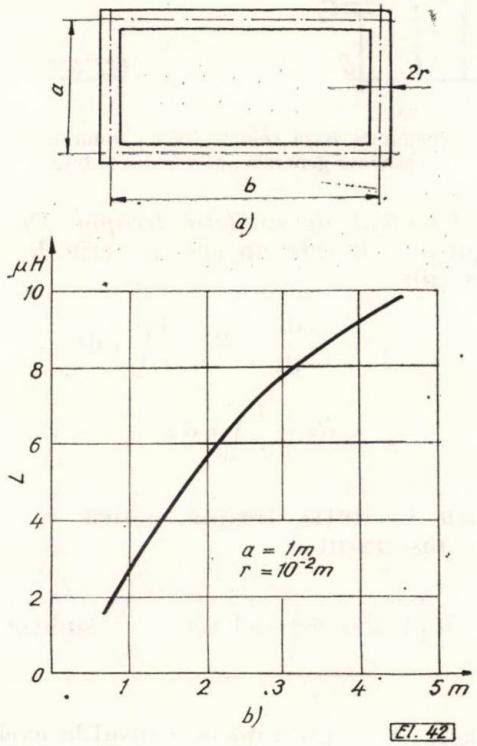


Fig. 6. Relativ la determinarea inductivității buclei de măsură *a*) bucla dreptunghiulară bară; *b*) $L = f(b)$.

poate constata că inductivitatea poate să ajungă la cel mai mult 10^{-5}H, valoare care a fost acceptată în calculele ce urmează.

În figura 7 a se prezintă schema electrică a divizorului mixt serie RC completat cu inductivitatea L a buclei de înaltă tensiune. În ipo-

teza compensării schemei de bază $\tau = R_1C_1 = R_2C_2$ rezultă schema redusă din figura 7, b, unde $R = R_1 + R_2$ și $C = C_1C_2/(C_1 + C_2)$. În aceste condiții răspunsul la excitația treaptă ca și caracteristica de frecvențe se vor determina pentru ansamblul serie R, C.

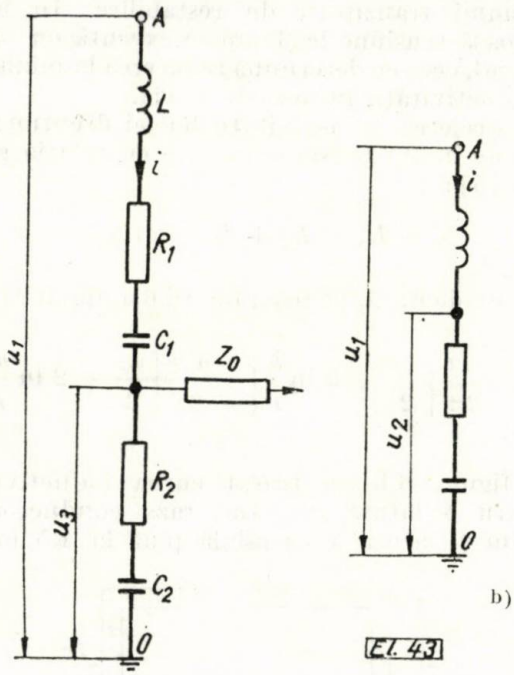


Fig. 7. Schema de bază completată cu inductivitatea L: a) schema generală; b) schema redusă.

3.1. Răspunsul de excitație treaptă. Circuitul din figura 7, b este un circuit serie R, L, C, cu ecuațiile:

$$u_1 = L\frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C}\int_0^t i\,dt$$
$$u_2 = Ri + \frac{1}{C}\int_0^t i\,dt. \qquad (14)$$

Pentru excitația treaptă, adică $u_1 = U$, rezultă răspunsul

$$u_2 = U\left[1 - e^{-\delta t}\left(\cos h\,\omega_e t - \frac{\delta}{\omega_e}\sinh\omega_e t\right)\right]. \qquad (15)$$

În figura 8 se prezintă răspunsul la excitația treaptă a divizorului, după relația (15), pentru care notațiile sînt:

$$\delta = R/2L\,;\ \omega_e = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}\,;$$
$$\omega_0^2 = 1/LC \text{ și cu } L = 10^{-7}\text{ H}.$$

Pentru curba din figura 7 se poate calcula timpul de răspuns, care rezultă a fi 0.

3.2. Caracteristica de frecvență. Funcția de transfer corespunzătoare schemei 6, b rezultă:

$$H(p) = \frac{2p\delta + \omega_0^2}{p^2 + 2p\delta + \omega_0^2}, \qquad (16)$$

iar caracteristica de frecvență este:

$$H(j\omega) = \frac{\omega_0^2(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\delta^2\omega^2 - 2\delta\omega^3 j}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2\delta^2}, \qquad (17)$$

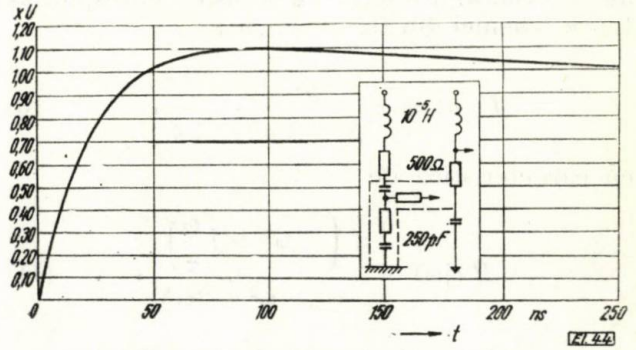


Fig. 8. Răspunsul la excitația treaptă a divizorului din figura 7.

cu caracteristici de frecvență a amplitudinii:

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{[\omega_0^2(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\delta^2\omega^2]^2 + 4\delta^2\omega^6}}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2\delta^2} \qquad (18)$$

și cu reprezentarea grafică din figura 9. Se constată o comportare bună a divizorului pînă la frecvențe de 4 MHz, unde atenuarea este de 3 dB. Desigur că această apreciere este valabilă numai pentru compensarea intrinsecă a divizorului. În realitate mai trebuie ținut cont

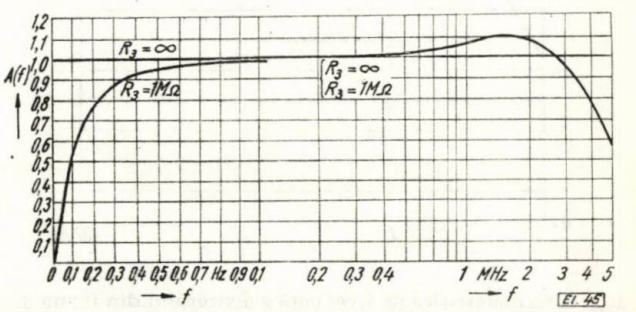


Fig. 9. Caracteristica de frecvențe a divizorului din variantele $R_3 = \infty$ și $R_3 = 1\text{M}\Omega$, cu considerarea inductivității din bucla de înaltă tensiune

de procesele propagării în bucle de înaltă tensiune și pe cablul coaxial de măsură, ceea ce va conduce la o oarecare diminuare a benzii de frecvență. Mai trebuie observat că schema din figura 7 este utilizabilă numai dacă tensiunea de măsură, pe partea de joasă tensiune, se aplică direct la plăcile unui oscilograf catodic, adică se exclude folosirea unui amplificator intermediar.

4. Schema de bază completă cu inductivitate în bucla de înaltă tensiune şi impedanţa de sarcină în bucla de joasă tensiune

Această schemă este indicată în cazul folosirii amplificatorului intermediar între divizorul de tensiune şi osciligraful catodic [4]. În mod obligatoriu circuitul de măsură de joasă tensiune al divizorului se închide pe impedanţa de intrare a amplificatorului, după cum se arată în schema electrică din **figura** 10. Pentru această schemă

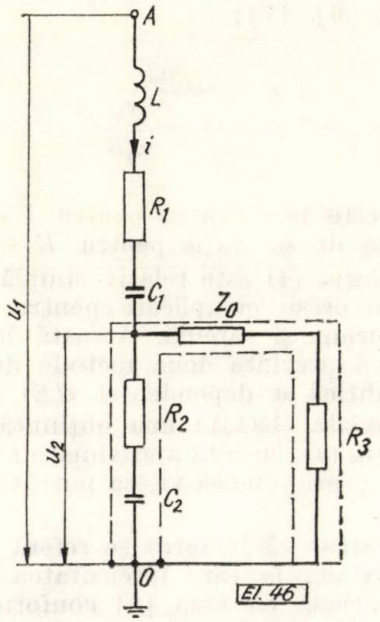


Fig. 10. Schema electrică a unui divizor de tensiune cu inductivitate în bucla de înaltă tensiune şi impedanţă de sarcină în circuitul de joasă tensiune.

important este a se cunoaşte funcţia de transfer şi caracteristica de frecvenţă. Funcţia de transfer se stabileşte observînd că acelaşi curent i parcurge ramura de înaltă tensiune formată din inductivitatea L, rezistenţa R_1, capacitatea C_1 şi ramura de joasă tensiune obţinută prin conectarea în paralela rezistenţei R_2, capacităţii C_2 cu rezistenţa R_3 a amplificatorului. Impedanţa rezistivă $Z_0 \ll R_3$ astfel că în calcule se va considera numai R_3 în loc de $Z_0 + R_3$. Se obţine astfel funcţia de transfer :

$$H(p) = \frac{R_3(R_2 + 1/pC_2)}{(R_1+pL+1/pC_1)(R_2+R_3+1/pC_2)+R_3(R_2+1/pC_2)}. \quad (19)$$

Pentru valorile $R_1 = 500\Omega$; $C_1 = 250$ pF; $R_2 = 0{,}125\ \Omega$; $C_2 = 1\mu$F; $L = 10^{-5}$ H; $R_3 = 1M\Omega$, se poate observa că $R \ll R_3$; $R_1/C_2 \ll R_3/C_2$; $R_3/C_1 \gg R_3/C_2$; $R_2R_3 \ll R_1R_3$ şi prin urmare funcţia de transfer se poate prezenta sub forma simplificată :

$$H(p) = \frac{C_1C_2R_2R_3p^2 + C_1R_3p}{LR_3C_1C_2p^3+(C_1C_2R_1R_3+C_1L)p^2 + R_3C_2p+1} \quad (20)$$

Caracteristica de frecvenţă a amplitudinii obţinută pe baza funcţiei de transfer este prezentată în figura 9. Se constată că divizorul de tensiune se comportă bine în gama 0,15 Hz—4 MHz, cu atenuare de 3 dB. Desigur că se menţin aceleaşi observaţii, privind procesele de propagare, ca la capitolul 3.

5. Concluzii

S-a urmărit să se stabilească performanţele intrinseci ale unui divizor de tensiune mixt serie RC, în patru variante. Sînt de reţinut variantele care cuprind inductivitatea în bucla de înaltă tensiune. În cazul folosirii amplificatorului intermediar între divizor şi oscilograf este necesar să se considere în circuitul de măsură, şi impedanţa de intrare a amplificatorului.

Caracteristicile de frecvenţă calculate asigură o bandă de frecvenţă cuprinsă practic între 1 şi 1 MHz, deşi banda de frecvenţă intrinsecă este încă mai largă.

Autorul aduce mulţumiri tov. ing. *Florescu D.* şi ing. *Săndulescu G.* pentru calculul caracteristicilor de frecvenţă la centrul de calcul I.C.P.E.

Bibliografie

[1] *Hortopan, G.* Concepţii noi privind măsurarea curenţilor intenşi şi a tensiunilor înalte. Dizertaţie, Institutul Politehnic-Bucureşti, 1965.

[2] *Hortopan, G.* Tehnica impulsului în laboratorul de înaltă tensiune. Editura Tehnică, Bucureşti, 1965.

[3] *Bahrs, D.* Zu Problemen der Spannungsmessung in der elektrischen Hochleistungstechnik. În: Wissenschaftlich—technische Mitteilung IPH. nr. 12, oct. 1971, p. 21—26.

[4] *Hortopan, G., Hortopan V.* şi *Truşcă V.* Aspecte noi privind măsurătorile efectuate la încercarea aparatelor electrice de comutaţie. Comunicare la a III-a Conferinţă a electricienilor, 21—23 sept. 1972 şi în Electrotehnica nr. 12., dec 1972.

[5] *Kalantarov, P. L.* şi *Teiltin, L. A.* Calculul inductanţelor. (Traducere din limba rusă) Ed. Tehnică, Bucureşti, 1958.

[6] *Cramariuc, R., Petrescu, V.* şi *Tănăsescu, F.* Măsuri electrice industriale. Vol. III : Măsurări în înaltă tensiune. Editura Tehnică, Bucureşti, 1971.

Intrat în redacţie la 14.XI.1972

Aproximări ale relației viteză - cîmp electric pentru purtători de sarcină în detectoare coaxiale Ge(Li)

DORIN N. POENARU* – București

CZ 621. 382.3 Ge : 537.311.33

Forma impulsurilor electrice furnizate de către detectoarele coaxiale ca răspuns la radiații nucleare, depinde de distribuția cîmpului electric de colectare existent în volumul acestora și de relația dintre viteza purtătorilor de sarcină și intensitatea cîmpului electric. Într-adevăr, în teorema Ramo-Jen [1], [2], [3]:

$$i = e \cdot \frac{E(r)}{V_a} \cdot \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} \tag{1}$$

utilizată pentru calculul impulsului de curent i, intervine explicit viteza purtătorilor $v = \mathrm{d}r/\mathrm{d}t$ și expresia intensității cîmpului electric $E(r)$ în fiecare punct de rază r, cîmp datorat aplicării potențialului V_a între electrozi. În relația (1), e este sarcina electronului.

Viteza purtătorilor de sarcină (electroni și goluri), se calculează cunoscînd legea lor de mișcare $r = r(t)$, care se poate obține integrînd ecuația diferențială

$$v = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} = \mu\, E(r). \tag{2}$$

În relația (2), r apare explicit dacă se cunoaște configurația cîmpului electric $E(r)$. Aici intervine mobilitatea purtătorilor de sarcină μ, care pentru cîmpuri de mică intensitate se poate considera o constantă.

În cîmpuri foarte intense, viteza nu mai depinde de intensitatea cîmpului; se obține o viteză de saturație

$$v = v_s = \text{const.} \tag{3}$$

În cîmpuri de valoare intermediară (E = 300–3000 V/cm), mobilitatea μ variază cu intensitatea cîmpului [4]. O teorie care să dea bune potriviri cu rezultatele experimentale, nu există. S-au propus diferite relații empirice $\mu = \mu(E)$ (vezi de exemplu [5]), dintre care remarcăm formula dată de către Awcock și Young [6], [7]:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \dfrac{v_s}{\mu_0 E}} \tag{4}$$

unde μ_0 este mobilitatea pentru $E \to 0$, iar v_s este viteza de saturație pentru $E \to \infty$.

Deși relația (4) este relativ simplă, ea conduce la expresii complicate pentru impulsurile de curent și sarcină. Această lucrare își propune să prezinte două metode de aproximare analitică a dependenței $v(E)$ în detectoare coaxiale Ge(Li): una obținută pornind de la relația (4), iar altă aproximare mai simplă în care se presupune că viteza purtătorilor este constantă.

De remarcat că lucrarea se referă la detectoare coaxiale, la care intensitatea cîmpului electric variază cu raza [8] conform relației

$$E(r) = \frac{V_a}{r + r_i} \cdot \frac{1}{\ln \dfrac{r_i + w}{r_i}} \tag{5}$$

unde r are originea la periferia cilindrului interior (vezi figura 1 pentru notații).

Problema nu are sens pentru detectoare plane (care pot fi considerate un caz limită de detector coaxial avînd factorul geometric

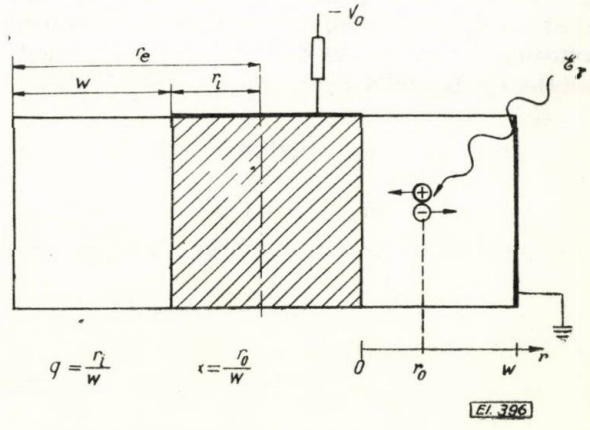


Fig. 1. Secțiune printr-un detector coaxial.

* Dr. ing. *D. N. Poenaru* lucrează la I.F.A.

$g = r_i/w \to \infty$), deoarece cîmpul electric este uniform în volumul acestora și impulsurile de curent rezultă de o formă dreptunghiulară, indiferent de intensitatea cîmpului electric de colectare.

Aproximarea vitezei variabile (AVV)

Introducînd relația (4) în (2), se obține

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{v_s} + \frac{1}{\mu_0 E}. \qquad (6)$$

De remarcat că, dispunînd numai de doi parametri (v_s și μ_0), relația (6) nu dă o aproximare foarte bună în tot intervalul de valori ale lui E de la 0 la ∞. Aproximarea este bună mai ales la extremitățile intervalului, adică pentru $E \to 0$, unde avînd $v << v_s$ rezultă

$$v = \mu_0 E, \qquad (7)$$

și pentru $E \to \infty$, cînd se obține relația (3).

Totuși, formula (6) poate aproxima suficient de bine variația $v(E)$ pentru un interval dat de valori intermediare, ale lui E, dacă în loc de μ_0 și v_s se folosesc alți parametri (pe care îi notăm la fel), rezultați din potrivirea cu datele experimentale, în intervalul dat (de exemplu prin metoda celor mai mici patrate).

Pentru potrivire cu datele experimentale, expresia (6) prezintă avantajul de a reprezenta, într-un sistem de coordonate rectangulare ($1/v$, $1/E$), o dreaptă avînd (fig. 2) inversa ordonatei la origine v_s și inversa pantei μ_0.

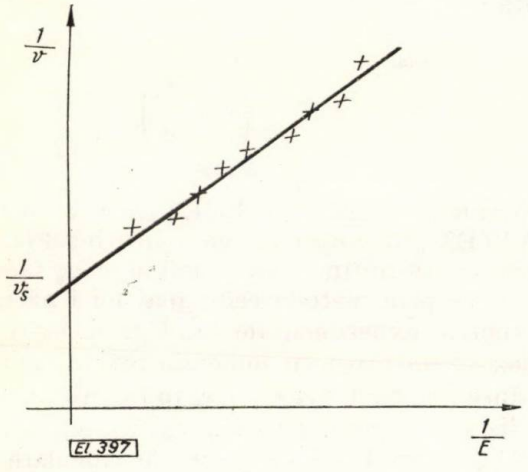


Fig. 2. Dreapta $1/v = f(1/E)$ și determinarea parametrilor săi v și μ_0.

În intervalul de variație a intensității cîmpului 300—3000 V/cm, care interesează în aplicațiile detectoarelor cu semiconductoare, am considerat valorile experimentale date de 4 autori [9]—[12] pentru electroni (indice e) și goluri (indice h) în germaniu la temperatura azotului lichid (vezi punctele din fig. 3). Se

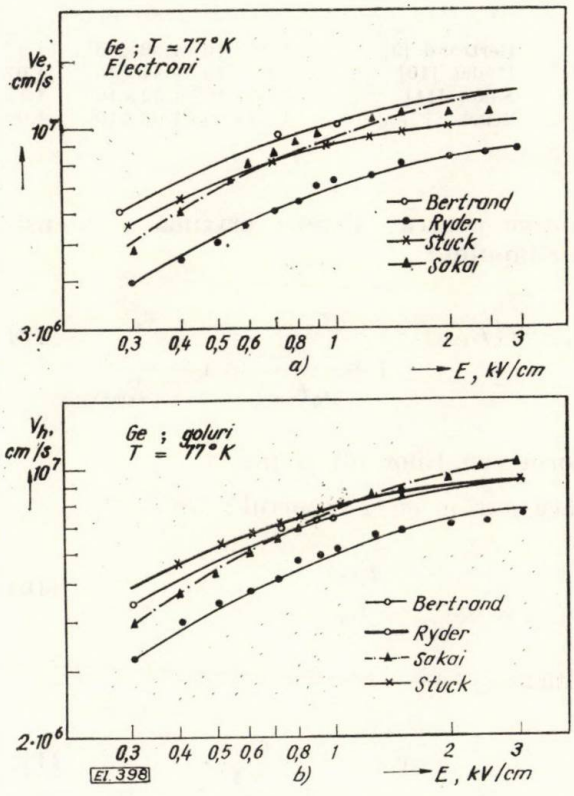


Fig. 3. Viteza electronilor (a) și golurilor (b) în funcție de intensitatea cîmpului electric în Ge la temperatura azotului lichid.

observă o dispersie a acestor date datorită materialelor diferite utilizate în măsurători. Prin metoda celor mai mici patrate (anexa), utilizînd un calculator electronic [13] s-au obținut valorile parametrilor date în tabela 1.

În această tabelă, mai apar următorii parametri la care ne vom referi în cuprinsul lucrării :

$$\beta_s = \frac{v_{se}}{v_{sh}}; \quad \beta_0 = \frac{\mu_{0e}}{\mu_{0h}}; \quad E_0 = \frac{v_s}{\mu_0}. \qquad (8)$$

Trasînd curbele v(E) calculate pe baza acestor parametri, se vede din figura 3 că potrivirea cu experiența este în general bună, cu excepția datelor lui Sakai pentru electroni. Acest fapt dă încredere în valabilitatea aproximării AVV bazată pe ecuația (6).

Utilizînd relația (6), putem deduce viteza maximă (v_{max}) și minimă (v_{min}) a unui purtător de sarcină într-un detector coaxial. Viteza maximă

Tabela 1

Parametrii variației vitezei cu cîmpul

Rezultate exp. după	v_{se}, cm/s	v_{sh}, cm/s	β_s	μ_e cm²/Vs	μ_h, cm²/Vs	β_0	β_s/β_0	E_{oe}, V/cm	E_{oh} V/cm
Bertrand [9]	$1{,}39\times10^7$	$1{,}39\times10^7$	1,27	37 850	25 350	1,49	0,85	368	432
Ryder [10]	$1{,}03\times10^7$	$0{,}97\times10^7$	1,07	20 800	16 460	1,26	0,84	496	588
Sakai [11]	$1{,}48\times10^7$	$1{,}32\times10^7$	1,12	25 360	19 350	1,31	0,86	585	682
Stuck [12]	$1{,}15\times10^7$	$1{,}06\times10^7$	1,09	37 870	31 770	1,19	0,91	304	333

se obține pentru valoarea maximă a intensității cîmpului :

$$v_{max}=v\,(E_{max})=\frac{v_s}{1+\dfrac{v_s}{\mu_0 E_{max}}}=\frac{v_s}{1+\dfrac{E_0}{E_{max}}} \tag{9}$$

conform ecuațiilor (6) și (8).

Dacă notăm cu α raportul :

$$\frac{E_{max}}{E_0}=\alpha, \tag{10}$$

rezultă :

$$v_{max}=\frac{v}{1+\dfrac{1}{\alpha}}. \tag{11}$$

Ținînd seama de faptul că din relația (5) avem

$$E_{max}=E(0)=\frac{V_a}{v_i}\cdot\frac{1}{\ln\dfrac{r_i+w}{r_i}}=\frac{V_a}{w}\cdot\frac{1}{g\ln\left(1+\dfrac{1}{g}\right)}, \tag{12}$$

conform definiției, pentru electroni,

$$\alpha_e=\frac{E_{max}}{E_{oe}}=\frac{V_a}{E_{oe}W}\cdot\frac{1}{g\ln\left(1+\dfrac{1}{g}\right)}=$$

$$=\frac{f}{g\ln\left(1+\dfrac{1}{g}\right)}, \tag{13}$$

unde am introdus factorul de cîmp f, definit de relația :

$$f=\frac{V_a/w}{E_0}, \tag{14}$$

care este o măsură adimensională a intensității cîmpului electric într-un material dat.

În mod analog, pentru goluri avem :

$$\alpha_h=\frac{E_{max}}{E_{oh}}=\alpha_e\frac{\beta_s}{\beta_0}. \tag{15}$$

Raportîndu-ne la electroni, vom obține :

$$\frac{v_{maxe}}{v_{se}}=\frac{\alpha_e}{1+\alpha_e}; \tag{16}$$

$$\frac{v_{maxh}}{v_{se}}=\frac{1}{\beta_s}\cdot\frac{\alpha_h}{1+\alpha_h}. \tag{17}$$

Viteza minimă se obține pentru valoarea minimă a intensității cîmpului electric

$$E_{min}=E(w)=E_{max}\frac{r_i}{r_i+w}=E_{max}\frac{g}{g+1}. \tag{18}$$

Introducînd în (6) și ținînd seama de (10), rezultă :

$$\frac{v_{min}}{v_s}=\frac{1}{1+\dfrac{1}{\alpha}\left(1+\dfrac{1}{g}\right)}. \tag{19}$$

Programul de calcul în FORTRAN IV denumit VITEZ [13] împreună cu subrutina FILES permite să se obțină parametrii v_s și μ_0 făcînd o potrivire prin metoda celor mai mici pătrate cu punctele experimentale (v_k, E_k). La ieșire se obține : 1) un tabel cu punctele experimentale introduse : v_e, v_h, $1/E$, $1/v_e$, $1/v_h$ în funcție de E ; 2) o listă a parametrilor v_{se}, v_{sh}, β_s, μ_{oe}, μ_{oh}, β_o, E_{oe}, E_{oh} ; 3) un tabel cu punctele calculate pe baza relației (6) folosind valorile parametrilor determinate la punctul (2) : v_e și v_h în funcție de $E = 100, 200, \ldots, 3000$ V/cm.

Valorile mărimilor α_e, α_h, v_{maxe}/v_{se}, v_{maxh}/v_{se} date de expresiile (13), (15), (16), (17) precum și mărimile v_{me}/v_{se}, v_{mh}/v_{se} și β_m care vor fi definite în

paragraful următor, pot fi calculate în funcție de g, β_0, β_s și f cu ajutorul programului VEFI [13].

Aproximarea vitezei constante (AVC)

După cum am văzut în paragraful precedent, intensitatea cîmpului electric de colectare existent în volumul sensibil al detectorului coaxial, variază cu distanța radială (cîmpul are simetrie cilindrică) între două valori extreme E_{min} și E_{max} (vezi relațiile (12)). și (18)). Din relația (18), se vede că raportul E_{max}/E_{min} depinde numai de valoarea factorului geometric g. Astfel, de exemplu, în cazul $g=1$, $E_{max}/E_{min}=2$. Întrucît domeniul de funcționare normală a detectorului se situează de obicei pe palierul caracteristicii $v(E)$, după cum se vede în figura 4,

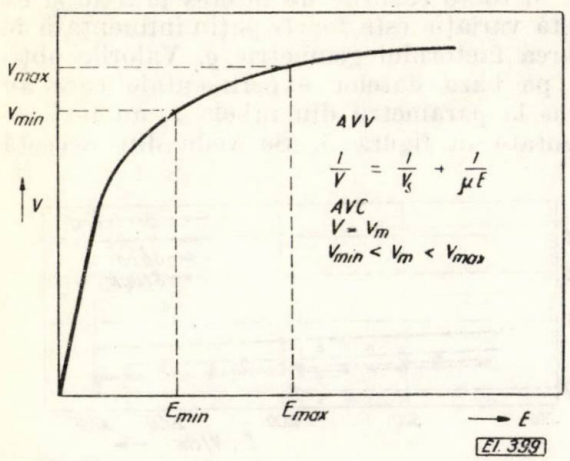


Fig. 4. Dependența vitezei de intensitatea cîmpului electric în detectoare coaxiale Ge(Li).

raportul v_{max}/v_{min} este considerabil mai mic decît $E_{max}E_{min}$. Acest fapt ne sugerează că putem aproxima relația (6) printr-o formulă mult mai simplă și anume :

$$v = v_m\,;\; v_{min} < v_m < v_{max} \tag{20}$$

unde viteza medie v_m se alege în mod corespunzător pentru un detector de geometrie dată, avînd aplicată o anumită tensiune de polarizare V_a. Prin definiție, vom lua :

$$v_{me} = \frac{w}{t_{ce}(x)\,|_{x=0}}, \tag{21}$$

$$v_{mh} = \frac{w}{t_{ch}(x)\,|_{x=1}}, \tag{22}$$

$$\beta_m = \frac{v_{me}}{v_{mh}}, \tag{23}$$

unde t_{ce} reprezintă timpul de colectare a electronilor, iar t_{ch} timpul de colectare a golurilor, perechile electron-gol fiind produse într-un punct r_0 căruia îi corespunde parametrul adimensional.

$$x = \frac{r_o}{w}. \tag{24}$$

Așadar, v_{me} reprezintă viteza medie de colectare a unui electron creat lîngă electrodul central, iar v_{mh} viteza medie de colectare a unui gol creat în imediata vecinătate a unui electrod marginal.

De fapt relația (20) este riguros satisfăcută numai în două cazuri : a) detectoare plane ($g\to\infty$) indiferent de valoarea factorului de cîmp f ; b) la intensități de cîmp foarte mari, la care se atinge viteza de saturație v_s, indiferent de valoarea factorului geometric al detectorului. În celelalte cazuri cu cît valorile lui g și f sînt mai mici, eroarea dată de (20) este mai mare.

Pentru determinarea vitezei medii conform definiției (21), (22), utilizînd relația analitică (6), este necesar să cunoaștem timpul de colectare.

Pornind de la relația (2), avem:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{v_s}{1+\dfrac{v_s}{\mu_0 E}} = \frac{v_s}{1+\dfrac{E_0}{E_{max}}\left(\dfrac{r}{r_i}+1\right)} = \frac{v_s\,\alpha\, r_i}{r+(1+\alpha)r_i}. \tag{25}$$

În cazul electronilor, prin integrare, obținem :

$$\int_{r0}^{r}[r + (1 + \alpha_e)r_i]\,dr = \int_0^t v_{se}\,\alpha_e\, r_i\,dt, \tag{26}$$

adică,

$$\frac{r^2 - r_0^2}{2} + (1 + \alpha_e)r_i\,(r - r_0) = v_{se}\,\alpha_e r_i\, t, \tag{27}$$

și după transformări simple,

$$\frac{t}{\tau_e} = \left(\frac{r}{r_i} + 1 + \alpha_e\right)^2 - \left(\frac{r_0}{r_i} + 1 + \alpha_e\right)^2, \tag{28}$$

unde :

$$\tau_e = \frac{r_i}{2\alpha_e\, v_{se}}. \tag{29}$$

Pentru $r = w$, obţinem timpul de colectare t_{ce}, din care rezultă :

$$\frac{t_{ce}|r_o=0}{\tau_e} = \left(\frac{1}{g} + 1 + \alpha_e\right)^2 - (1+\alpha_e)^2 =$$

$$= \frac{1}{g^2} + \frac{2}{g}(1 + \alpha_e). \qquad (30)$$

Introducînd în relaţia de definiţie (21) şi raportînd la v_{se}, dacă ţinem seama de (29), avem :

$$\frac{v_{me}}{v_{se}} = \frac{2\alpha_e}{g} \cdot \frac{1}{\frac{1}{g^2} + \frac{2}{g}(1 + \alpha_e)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha_e}\left(1 + \frac{1}{2g}\right)}. \qquad (31)$$

Pentru verificare, se observă că limita acestei expresii cînd $\alpha_e \to \infty$ este 1, iar pentru $g \to \infty$, rezultă $\alpha_e/(1 + \alpha_e)$ adică relaţia (16).

Procedînd în mod analog pentru goluri, putem scrie :

$$-\frac{dr}{dt} = \frac{v_{sh}\,\alpha_h\,r_i}{r + (1 + \alpha_h)\,r_i} \qquad (32)$$

Semnul minus se datorează faptului că sensul de mişcare al golurilor este către valori mai mici ale lui r (spre electrodul central polarizat la tensiune negativă). Integrînd, avem :

$$-\int_{r0}^{r} [r + (1 + \alpha_h)\,r_i]\,dr = \int_0^t v_{sh}\,\alpha_h\,r_i\,dt, \qquad (33)$$

sau,

$$-\frac{r^2 - r_0^2}{2} - (1 + \alpha_h)\,r_i(r - r_0) = v_{sh}\,\alpha_h\,r_i\,t, \qquad (34)$$

de unde,

$$\frac{t}{\tau_h} = \left(\frac{r_0}{r_i} + 1 + \alpha_h\right)^2 - \left(\frac{r}{r_i} + 1 + \alpha_h\right), \qquad (35)$$

în care am notat,

$$\tau_h = \frac{r_i}{2\alpha_h\,v_{sh}}; \qquad (36)$$

Pentru $r = 0$ obţinem timpul de colectare a golului şi introducînd $r_0 = w$ — rezultă valoarea maximă a acestuia :

$$\frac{t_{ch}}{\tau_h}\bigg|_{r_0=w} = \left(\frac{w}{r_i} + 1 + \alpha_h\right)^2 - (1 + \alpha_h)^2 = \frac{1}{g^2} + \frac{2}{g}(1 + \alpha_h) \qquad (37)$$

de unde în final,

$$\frac{v_{mh}}{v_{se}} = \frac{1}{\beta_s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha_h}\left(1 + \frac{1}{2g}\right)}. \qquad (38)$$

Făcînd raportul dintre expresiile (31) şi (38) avem :

$$\beta_m = \beta_s \frac{1 + \frac{1}{\alpha_h}\left(1 + \frac{1}{2g}\right)}{1 + \frac{1}{\alpha_e}\left(1 + \frac{1}{2g}\right)}. \qquad (39)$$

Ţinînd seama de relaţiile (13) şi (15), rezultă că acest raport depinde de β_s şi β_0, geometria detectorului (g) şi cîmpul aplicat (f).

Calcule de curbe $\beta_m(f)$ cu valori diferite ale β_s şi β_0, au arătat că variaţia lui β_m cu f este lentă în toate cazurile de interes practic şi că această variaţie este foarte puţin influenţată de valoarea factorului geometric g. Valorile obţinute pe baza datelor experimentale care au condus la parametrii din tabela 1, au fost reprezentate în figura 5. Se vede din această

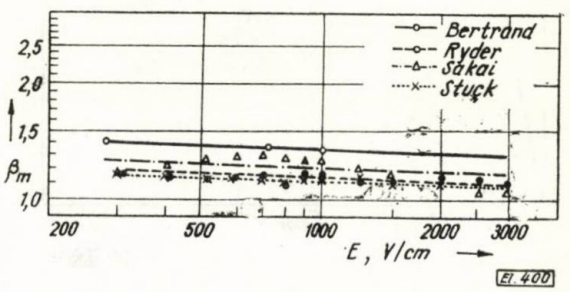


Fig. 5. Variaţia raportului dintre viteza electronilor şi a golurilor cu intensitatea cîmpului electric.

figură că practic putem considera β_m = const., independent de valoarea intensităţii cîmpului electric. Se observă din nou că în general AVV dă o foarte bună potrivire cu datele experimentale, cu excepţia celor obţinute de către Sakai [11] pentru care abaterea este mai mare.

Calculele făcute cu cele două tipuri de aproximări [14] arată că în multe cazuri practice aproximarea AVC poate fi aplicată cu mult succes prezentînd avantajul unei simplităţi a relaţiilor obţinute, în comparaţie cu cele care rezultă pe baza aproximării AVV.

Concluzii

Dependenţa viteză — intensitatea cîmpului electric v(E) pentru purtătorii de sarcină în materiale semiconductoare (în particular în Ge la temperatura azotului lichid) poate fi bine aproximată pentru un interval dat de

valori ale cîmpului electric cu o relație empirică simplă (6), care dispune de doi parametri μ_0 și v_s avînd o interpretare fizică directă (mobilitatea inițială și respectiv viteza de saturație a purtătorilor de sarcină). Se dispune astfel de metoda de aproximare denumită pe scurt AVV.

Parametrii μ_0 și v_s se pot determina ușor prin metoda celor mai mici patrate pornind de la cunoașterea unor puncte experimentale $v_k(E_k)$, deoarece în planul de coordonate $(1/v, 1/E)$ relația menționată reprezintă o dreaptă.

Introducerea unei relații analitice v(E) permite să se obțină în multe cazuri practice expresii analitice pentru impulsurile de curent și sarcină furnizate de către detectoarele coaxiale Ge(Li) ca răspuns la radiații nucleare. Pentru a simplifica aceste expresii, se poate utiliza o relație de aproximare și mai simplă — aproximarea vitezei constante AVC. Deși mai puțin exactă decît prima, această ultimă aproximare este utilizabilă mai ales pentru valori mari ale intensității cîmpului electric indiferent de geometria detectorului sau pentru detectoare cu factor geometric ($g = r_i/w$) mare.

ANEXĂ

Metoda celor mai mici patrate

Se pune problema să găsim o expresie analitică $y(x)$ care să treacă printre n puncte experimentale (x_k, y_k) unde $k = 1, 2, \ldots, n$, astfel încît eroarea patratică medie

$$F = \frac{1}{n}\left\{\sum_{k=1}^{n} [y(x_k) - y_k]^2\right\} \tag{A1}$$

să fie minimă.

În cazul în care expresia analitică este ecuația unei drepte

$$y = mx + b \tag{A2}$$

parametrii m și b ai acesteia rezultă din condiția de minim:

$$\frac{\partial F}{\partial b} = \frac{\partial F}{\partial m} = 0 . \tag{A3}$$

În acest caz:

$$F = \frac{1}{n}\left\{\sum_{k=1}^{n} (mx_k + b - y_k)^2\right\} \tag{A4}$$

Scrise expiicit folosind relațiile (A4) și (A3), aceste condiții dau sistemul de două ecuații

$$\sum_{k=1}^{n} (mx_k + b - y_k) = 0 . \tag{A5}$$

$$\sum_{k=1}^{n} x_k (mx_k + b - y_k) = 0 . \tag{A6}$$

din care rezultă parametrii căutați

$$m = \frac{\Sigma x_k y_k - \frac{1}{n}\Sigma y_k \cdot \Sigma x_k}{\Sigma x_k^2 - \frac{1}{n}(\Sigma x_k)^2} \tag{A7}$$

$$b = \frac{1}{n}(\Sigma y_k - m\Sigma x_k) \tag{A8}$$

Subrutina FILES [13] permite să efectuăm acest calcul cu ajutorul unui calculator electronic. Lista programului în FORTRAN este:

```
      SUBROUTINE FILES (X, Y, N, AM, B)
      DIMENSION X(15), Y(15)
      SX = 0.
      SY = 0.
      SXX = 0.
      SXY = 0.
      DO 10 I = 1, N
      SX = SX + X(I)
      SY = SY + Y(I)
      SXX = SXX + X(I)* X(I)
10    SXY = SXY + X(I)* Y(I)
      AN = N
      AM = (SXY - SY* SX/AN)/(SXX - SX* SX/AN)
      B = (SY - AM*SX)/AN
      RETURN
      END
```

Bibliografie

[1] *Ramo, S.* În: Proc. I.R.E., **27**, nr. 1939, p. 584.

[2] *Jen, C. K.*, Proc. I.R.E. **29**, nr. 6, 1941, p. 345.

[3] *Cavalleri, G.* al, În: Nucl. Instr. Meth., **21**, 1963. p. 177.

[4] *Drăgănescu, M.*: Procese electronice în dispozitive semiconductoare de circuit. București, Editura Academiei RPR, 1962.

[5] *Poenaru, D. N.* Impulsurile detectoarelor de radiații nucleare cu semiconductoare. București, Editura Academiei RSR, 1968.

[6] *Awcock, M. L.* și *Young, D. C.* Preprint AERE-R4710, Harwell, 1964.

[7] *Pagnotte, Y.* Preprint Lycen 6876, Lyon, 1968.

[8] *Poenaru, D. N.* și *Vilcov, N.* Measurement of Nuclear Radiations with Semiconductor Detectors. New York, Chemical Publishing Co., 1969.

[9] *Bertrand, F. E.* et al. În: IEEE Trans., NS-**13**, nr. 3, 1966, p. 279.

[10] *Ryder, E. J.*, În: Phys. Rev., 90, 1953, p. 766.

[11] *Sakai, S.* și al, Proc. Gatlinburg Conf., NAS Publ. 1593, p. 101, 1969.

[12] *Stuck*, R. rezultate nepublicate.

[13] *Poenaru, D. N.* Preprint IFA, CRD-44, București, 1970.

[14] *Poenaru, D. N., Stuck, R* și *Siffert, P.* În: IEEE Trans. NS–17, 3, 1970 176.

Intrat în redacție la 5.V. 1972

RECENZII

C.Z.538.3 :612.371 :530.182 :517.9 :621.3.01.

P. M. Kolesnicov: **Introducerea în electrodinamica neliniară.** (Vvedenie v nelineinuiu elektrodinamiku). Ed. Nauka i tehnika, Minsk, 1971, 384 pag.

Electrodinamica macroscopică neliniară cunoaşte în prezent o puternică dezvoltare. Există numeroase dispozitive a căror funcţionare se bazează pe proprietăţile neliniare ale unor medii. Astfel sînt: multiplicatoarele de frecvenţă, generatoarele parametrice, generatoarele de impulsuri de scurtă durată, generatoarele cuantice ş.a.

Prezenta lucrare este prima monografie consacrată electrodinamicii mediilor neomogene şi neliniare. Pentru redactarea ei, în afară de rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul electrodinamicii, autorul a folosit şi o serie de rezultate obţinute în cadrul cercetărilor de mecanică neliniară şi de transmisie a căldurii în medii neliniare, domenii în care intervin ecuaţii integro-diferenţiale izomorfe cu ecuaţiile din electrodinamica neliniară. O mare atenţie este acordată în lucrare prezentării metodelor analitice exacte şi aproximative, metodelor analitice exacte şi aproximative, metodelor numerice de rezolvare a ecuaţiilor neliniare întîlnite în electro-dinamică.

În primul capitol sînt prezentate legile electrodinamicii macroscopice şi caracteristicile de material ale mediilor neomogene şi neliniare. Se enumeră principalele tipuri de neliniarităţi ale rezistoarelor, bobinelor şi condensatoarelor şi se dau expresiile analitice uzuale cu care se aproximează caracteristicile acestor elemente de circuit. Se prezintă apoi diversele moduri de exprimare analitică a curbei fundamentale de magnetizare: aproximarea prin segmente de dreaptă, aproximarea prin polinoame algebrice, exponenţiale sau trigonometrice. În continuare se discută caracteristicile în regim variabil ale mediilor feromagnetice; se expune procesul de magnetizare realizat pe seama rotirii domeniilor de magnetizare spontană, precum şi procesul de magnetizare realizat pe seama deplasării pereţilor Bloch. Se analizează procesul de remagnetizare a feritelor cu ciclu de histerezis dreptunghiular şi se prezintă postefectul magnetic. În încheiere, se discută polarizarea dielectricilor în cîmp constant şi în cîmp variabil.

Studiul circuitelor electrice neliniare şi al circuitelor parametrice cu parametri concentraţi este făcut în cel de al doilea capitol al lucrării. După ce se prezintă ecuaţiile circuitelor electrice, atît pentru cazul cîmpurilor electromagnetice cvasistaţionare, cît şi pentru cazul cîmpurilor electromagnetice rapid variabile în timp şi după ce se discută deosebirile dintre circuitele liniare şi cele neliniare, se expun principalele metode de rezolvare a ecuaţiilor circuitelor neliniare: metoda parametrului mic, metoda variaţiei parametrilor (metoda Van der Pol), metoda Bogoliubov—Krilov—Mitropolski, metodele variaţionale şi metodele de studiu calitativ al ecuaţiilor neliniare. Se studiază apoi circuitele electrice cu parametri variabili. Capitolul se încheie cu o prezentare a proceselor tranzitorii care au loc la încărcarea unui condensator de la un generator sincron monofazat prevăzut sau nu cu înfăşurare de amortizare.

Capitolul al treilea este consacrat prezentării metodelor analitice de rezolvare a ecuaţiilor electrodinamicii mediilor neliniare şi neomogene. Se enumeră formele principale ale acestor ecuaţii, se dau caracteristicile lor şi integralele lor prime. Se discută modul de reducere a ecuaţiilor neliniare ale electrodinamicii la ecuaţii liniare echivalente. Se prezintă metoda inversiunii. Pentru cîteva tipuri particulare de ecuaţii se indică metode aproximative de rezolvare. În continuare, se prezintă metoda transformărilor funcţionale, metoda transformatei Laplace, metoda lui Riemann. Se tratează problema integrării sistemelor liniare de ecuaţii cu derivate parţiale de ordinul întîi, cu coeficienţi variabili. Se discută problema lui Cauchy şi problema lui Goursat. Se analizează interacţiunea undelor electromagnetice în medii neliniare şi se studiază undele electromagnetice de şoc. În încheierea acestui capitol se examinează oscilaţiile neliniare ale plasmei în cîmp electric autoacordat.

În capitolul al patrulea se analizează difuzia cîmpului electromagnetic în medii neomogene şi neliniare, iar în capitolul al cincilea se face o prezentare a problemelor opticii geometrice a mediilor neomogene şi neliniare, indicîndu-se metodele analitice de rezolvare a ecuaţiilor opticii geometrice neliniare.

Fiecare capitol al cărţii este însoţit de o bogată bibliografie, care însumează aproape 300 de titluri.

Avînd în vedere actualitatea problemelor tratate în lucrare, precum şi buna documentare a autorului, consider că traducerea în limba română a acestei monografii, prima de acest gen din lume, ar fi foarte potrivită. Cartea este utilă inginerilor, fizicienilor şi cercetătorilor ştiinţifici care lucrează în domeniul aplicaţiilor practice ale electromagnetismului, precum şi studenţilor de la Facultăţile de electrotehnică, de electronică şi de fizică.

Aurelian Crăciunescu

AEG — Hilfsbuch 2, Handbuch der Elektrotechnik. Zehnte Auflage (AEG 2, Manual ajutător, pentru electrotehnică, ediţia zecea), Editura Elitera, Berlin, 1967, 832 pag.

Manualul ajutător AEG 2, nu este o carte de studiu, ci pune la dispoziţia specialiştilor şi celor care se pregătesc, din domeniul tehnicii curenţilor tari, indicaţii folositoare. Specialistul nu trebuie, din această cauză, să aştepte să găsească în această carte, pentru domeniul său propriu de lucru, noţiunile sub forma cea mai aprofundată, va găsi totuşi foarte multe noţiuni chiar din domenii apropiate, ca preocupări, cu activitatea sa proprie.

Capitolul 1, de exemplu, este complet refăcut, iar celelalte capitole au fost aduse la cel mai nou stadiu al tehnicii, conform cerinţelor dezvoltării impetuoase a electrotehnicii. Au fost însă necesare peste tot limitări în tratare, pentru a menţine totuşi cartea în limite utilizabile, adecvată scopului propus.

S-au tratat, printre altele, detaliat, capitolele care cuprind noţiuni legate de măsurători, comandă, reglaj, automatizare. În special, s-au revizuit capitolele legate de tehnica acţionărilor. La fel s-a luat în considerare, este adevărat mai pe scurt, tehnica informaţiei a cărei legătură cu o serie întreagă de domenii ale tehnicii curenţilor tari, de exemplu, tehnica acţionărilor la distanţă, de asemenea a problemelor din ce în ce mai complicate şi mai grele, legate de protecţia maşinilor şi reţelelor, cărora li s-a acordat o deosebită atenţie. Anexa acestei cărţi, cuprinde indicaţii cu privire la aplicarea celui mai uzitat sistem de unităţi, sistemul M—K—S (Kp).

După ce în capitolul 1 se prezintă o introducere generală, pornindu-se de la atom, electricitatea cu diversele noţiuni de curenţi şi tensiuni, ajungînd la tehnica calculatoarelor şi a automatizării, s-a trecut la capitolul 2 privind producerea curentului.

Urmează capitolul 3 în care sînt prezentate convertoarele şi anume convertoarele rotative.

Capitolul 4, tratează problema ventilelor electrice şi a redresoarelor.

În capitolul 5, privind elementele de distribuţie a energiei, s-au tratat problemele legate de transformatoare, aparate de comutaţie, aparatele de transmisie şi comandă. Legat de aceasta sînt prezentate în capitolul 6 şi probleme legate de conductoare, reţele şi altele.

Sînt tratate, de asemenea, în capitolul 7 problemele instalaţiilor de comutaţie şi anume a elementelor constructive, a schemelor, a instalaţiilor de înaltă tensiune, a instalaţiilor de medie tensiune şi a celulelor de comandă, solicitări la scurtcircuit, aparate de comutaţie ş.a.

În capitolul 8, privind tehnica măsurătorilor, sînt descrise aparatele de măsură şi procedeele de măsură, prelucrarea datelor, numărătoare electrice, ceasuri electrice şi transformatoarele de măsură.

Capitolul 9 tratează foarte detaliat, în această ediţie, problemele legate de tehnica reglajului şi anume, comanda reglajului şi automatizarea instalaţiilor, comanda cu ajutorul programelor etc.

În capitolul 10 se prezintă în mod foarte sugestiv, noţiuni referitoare la electromotoare, acţionări şi părţile lor constructive.

Urmează capitolul 11, referitor la tehnica acţionărilor, în care sînt prezentate destul de detaliat, aspecte legate de

tehnica reglajului și a comenzilor în tehnică, urmînd apoi capitolul 12, care cuprinde noțiuni legate de dispozitivele electronice.

Capitolul 14, cuprinde noțiuni legate de tehnica transmisiilor la distanță, și anume problema cablurilor de transmisie la distanță, frecvențe purtătoare pentru conductoare de înaltă tensiune, telegrafia în curentul alternativ, alimentarea cu curent, instalații de informații ș.a.

În capitolul 15, privind încălzirea pe cale electrică sînt prezentate toate exemplarele practice privind procedeele de sudură a metalelor sudura cu arc, sobe industriale, etc.

Tehnica vibrațiilor este prezentată în capitolul 16, trenurile electrice în capitolul 17, iar în capitolul 18, aplicațiile electricității pe nave.

Apoi urmează capitolul 19, în care se prezintă noțiuni legate de tehnica iluminatului, lămpi cu descărcări în gaze, calculul iluminatului etc.

În capitolul 20 sînt prezentate aplicațiile electricității în domeniul bunurilor de larg consum și anume în domeniul utilajelor cosmice, iar în capitolul 21 sînt prezentate aplicațiile electricității în domeniul televiziunii, radioului, magnetofoanelor și instalațiilor electroacustice.

În sfîrșit în capitolul 22 se prezintă proprietățile materialelor electroizolante, iar în capitolul 23 măsurile de protecție în vederea înlăturării accidentelor.

Cartea este de mare utilitate tuturor specialiștilor care lucrează în domeniul industriei electrotehnice, precum și tuturor care lucrează în domeniul aplicațiilor tehnice ale electricității.

Ing. *V. Trușcă*

REFERATE

CZ 621.313 *Mașini electrice*

CZ 621.313.1.026.441/2.001.6

Tillner, S. **Dezvoltarea micromotoarelor în funcție de cerințele de acționare.** (Antriebsbezogene Entwicklung von Kleinstmotoren) In : ETZ-B, nr. 12/1972, p. 283—286, 2 tab., 7 fig., 3 graf.

Articolul prezintă o privire generală asupra problemelor de acționare impuse de diferitele domenii ale tehnicii, precum și concluziile care se deduc în privința dimensionării și condițiilor constructive ale micromotoarelor. Multe din aceste motoare reprezintă soluții speciale, fiind proiectate și construite numai pentru acționarea unui anumit aparat. Într-un tablou sînt arătate diferite tipuri de motoare (asincrone, universale, de curent continuu) pentru puteri între 10—600W și pentru diverse utilizări (ventilatoare, mașini de spălat rufe, mașini de birou, frigidere, aspiratoare de praf etc.). Nu sînt prezentate în tablou motoare speciale, cum ar fi motoarele sincrone, motoarele cu reluctanță, cu comutare electronică și altele. Motoarele monofazice în serie, cu comutator (motoarele „universale") de turații mari (15 000...25 000 rot/min), cu cuplu de pornire ridicat (4...8 ori cuplul nominal) și dimensiuni reduse sînt destinate pentru aspiratoarele de praf, mașini de rîșnit etc.

O aplicabilitate mult mai vastă o găsim la motoarele asincrone monofazice (de la fracțiuni de W pînă la 1 kW), în diferitele lor variante : motoare cu fază secundară, motoare cu condensatori și motoare cu poli despicați. Este descrisă funcționarea motoarelor cu fază secundară (necesară doar la pornire), care au o utilizare foarte restrînsă (frigidere). Sînt date apoi detalii constructive privind motoarele cu condensatori, arătîndu-se că domeniul lor de putere este peste 15 kW. Motorul cu poli despicați, cu rotor interior sau exterior, reprezintă construcția cea mai simplă a unui motor monofazic.

Cu ajutorul a două figuri și două grafice se explică funcționarea și construcția unui asemenea motor, menținîndu-se că nu sînt încă elucidate aspectele teoretice ale acestuia și că producția unor noi forme de tole necesită acumularea unei experiențe mai mari.

Făcîndu-se o comparație între acest motor și motorul cu condensator, se relevă avantajele și dezavantajele lor din punct de vedere constructiv, al randamentului etc. un alt tablou indică condițiile impuse motoarelor asincrone pentru diferite acționări.

Sînt tratate apoi probleme ridicate de zgomotele produse de motoare, arătîndu-se de la caz la caz sursa zgomotelor, influența lor asupra aparatelor și mijloacele pentru evitarea lor (de ex. la mașinile de scris). Un motor interesant pentru acționarea mașinilor de spălat rufe este motorul cu rotorul încadrat între 2 statori (unul în afara rotorului, celălalt în interior. Printr-o secțiune perpendiculară pe ax este explicată funcționarea sa. În încheiere se prezintă secțiunea unui motor cu poli despicați destinat pompei unei instalații de încălzire centrală.

Gh. C.

Siekmann, H. **Evoluția construcțiilor la electromotoarele mici și foarte mici.** (Entwicklungen bei Klein — und Kleinstmotoren). In : ETZ—B, nr. 12, 1972, p. 299—302, 6 graf., 2 tabl.

Se arată că s-au creat multe posibilități noi de realizare a acestor motoare datorită progreselor în domeniul materialelor și al procedeelor de fabricație, precum și al introducerii de noi elemente (tranzistoare, tiristoare). Importanța acestor motoare reiese din faptul că din valoarea mașinilor electrice construite în R.F.G. în 1969 revine o cotă-parte de 45% motoarelor mici și foarte mici (În S.U.A. circa 65%). Aceste procentaje și creșterea lor continuă se datoresc dezvoltării diferitelor domenii, cum ar fi automatizarea, raționalizarea, siguranța de funcționare și protecția față de mediul înconjurător, unde acționarea individuală oferă soluțiile cele mai economice. Multe din propunerile vechi, de exemplu motorul de c.c. fără perii, au putut fi puse în practică abia după apariția elementelor de comandă fără contact (tranzistoare, tiristoare). Sînt arătate pericolele principale ale evoluției mașinilor electrice, începînd cu anul 1900, cînd s-au prelucrat bazele teoretice ale mașinilor electrice și pînă în anul 1955, cînd cu ajutorul computerilor, s-a trecut la optimizarea mașinilor din punct de vedere al materialelor și al tehnologiei de fabricație. În privința materialelor s-a pornit de la formula primordială $F = \rho . B$ (F — forța în cîmpul magnetic, ρ — densitatea curentului, B — inducția), ajungîndu-se la ameliorarea conductibilității magnetice, la magneții permanenți, la izolații superioare etc. Rezultatele evoluției materialelor sînt arătate în 2 grafice : greutatea motorului/putere (kW) în decursul timpului, respectiv greutatea motorului/putere (kW) în funcție de puterea mașinilor. Alte grafice ne arată prețurile tolelor în funcție de calitatea lor, respectiv evoluția magneților permanenți în decursul timpului. Ultimele 2 grafice prezintă compoziția lacurilor izolante ale conductoarelor din bobinajul respectiv și de asemenea progresul la umplerea ancoșelor în decursul timpului.

În privința tehnologiei de fabricație sînt indicate ștanțarea și montajul, insistîndu-se în special, asupra bobinajului cu conductoarele lăcuite descrise mai sus. Prin deschiderea ancoșelor la stator se scurtează durata bobinajului, obținîndu-se în același timp un factor ridicat de umplere a ancoșei. Se arată că folosirea mașinilor electronice de calcul a dus la reducerea prețului de cost și la condiții superioare de exploatare.

Noile elemente ale electrotehnicii au făcut posibile progrese în reglarea turației, precum și în realizarea motoarelor „pas cu pas". Sînt amintite apoi motoarele cu depozit al materialului de ungere, ceea ce reduce la minimum sau chiar elimină orice deservire. În încheiere se arată, într-un tabel, dependența intensității vibrațiilor în funcție de construcția palierelor, de izolație, de aerisire etc.

Gh. C.

CZ 621.315 ***Materiale izolante***

CZ. 621.315.1 : 621.3.024

Nicolaev, N. A. ş.a. **Despre utilizarea izolatoarelor din sticlă călită pe liniile electrice de curent continuu** (O primenenii izoliatorov iz zacalenovo stecla na vozdușnih liniah electroperedaci pastaiannovo toca) In : Electriceschie stanții, Nr. 4, 1972, p. 40—43, 2 tab. 14 ref.

Izolatoarele din sticlă călită, pe bază de alcalii sau fără, au cunoscut în ultimii ani utilizări spectaculoase. Avînd unele avantaje față de izolatoarele similare din porțelan — în special ca preț de cost și caracteristici mecanice — ele s-au montat pe linii de tensiune înaltă pînă la 750 kV, nesesizîndu-se pînă acum dificultăți care să frîneze această expansiune.

Se prezintă caracteristicile sticlei electrotehnice din care s-au fabricat izolatoare în Anglia, Franța, URSS, Italia și România (cercetările ICPE).

În vederea utilizării acestor izolatoare pe linii de înaltă tensiune în curent continuu se prezintă încercările efectuate în URSS, în special pe direcția determinării rezistenței de volum a sticlei, funcție de compoziție și condițiile climatice, ca și studiile legate de stabilirea proceselor ce apar în izolatoare la aplicarea de lungă durată a tensiunii.

Deși încercările nu sînt terminate, rezultatele obținute pînă acum, recomandă utilizarea izolatoarelor din sticlă călită și în liniile de transport al energiei în curent continuu.

Fl. T.

CZ 621.316 ***Distribuirea energiei electrice. Rețele. Protecția aparatelor***

CZ 621.316.57.064.46

Mehjer, A., ş. a. **Instalații de conexiuni la tensiuni înalte, cu SF_6.** Supravegherea gazului, întreținere și revizie, (Installations de couplage a haute tension, à SF_6. Surveillance du gaz, entretien et révision) In : Revue Brown Boveri, 59, nr. 4, 1972, p. 163—168.

Dimensiunile reduse ale instalațiilor de cuplaj blindate, obținute grație utilizării SF_6, care la aceeași presiune cu aerul prezintă o rigiditate dielectrică de 2,5 ori mai mare, pledează — în special în ultimii ani — pentru o utilizare tot mai frecventă a acestor construcții în sistemul energetic.

Se prezintă construcțiile realizate de firma Brown Boveri, schemele electrice, modelele propuse. Din experiența firmei se comunică date privind supravegherea nivelului de izolație, circuitul de gaz al întreruptoarelor, verificarea dispozitivului de supraveghere a densității ca și indicații privind revizia.

Interesul deosebit al exploatării, pentru instalațiile blindate funcționînd în SF_6, nu înseamnă o devalorizare a construcțiilor clasice, ci accentuarea unor noi priorități, în special legate de aglomerările industriale, unde lipsa de spațiu este preponderentă, iar estetica industrială cere construcții care să nu strice arhitectura generală.

Fl. T.

CZ 621.317 ***Tehnica măsurilor electrice. Aparate de măsură***

CZ 621.317.333.6/8

Leroy, G., ş.a. **Incercări dielectrice și foarte înalte tensiuni. Laboratorul de foarte înaltă tensiune de la Rénardières.**(Essais diélectriques et très hautes tensions. Le laboratoire à très haute tension des Rénardières). În : RGE, 80, 1971, nr. 10, p. 768—777, 18 fig., 5 tab. 13 ref. bibl.

În timp ce generatoarele din etapa precedentă se refereau în special la rezistența dielectrică a materialelor supuse la unde de impuls cu front abrupt și la tensiuni sinusoidale de frecvență industrială, cele recent prevăzute a intra în funcțiune sînt destinate în special punerii la punct a noilor metode de încercări, în special cele legate de utilizarea undelor cu front lent, de controlul rigidității dielectrice în condiții de poluare, ca și măsurarea nivelelor slabe de descărcări parțiale existente în echipamentele mari.

Plecînd de la mijloacele actuale de încercări, se examinează și evoluția echipamentelor mari de încercare destinate impulsurilor de manevră cu front lent, declanșarea programată a două generatoare, transformatoarele cu cuplări multiple și nivele coborîte de descărcări, concepția generală a halelor. Ca exemplu, se prezintă laboratorul de foarte înaltă tensiune de la Rénardière, unul dintre cele mai moderne laboratoare europene ce dezvoltă, din perioada 1971—1972, cercetări legate de trecerea tensiunilor de transport, la valori superioare (1100 kV și 1 500 kV), de prizele de punere la pămînt și de concepția modernă a laboratoarelor. Se comunică indicații deosebit de interesante în domeniile : gamei undelor de impuls, produse de generatoare ; reducerii cîmpului electric superficial ; producerii undelor cu front abrupt ; declanșării „pilotate" ; adaptării tehnologice a generatoarelor existente la noile condiții ; circuitelor de măsură ; nivelelor de descărcări admisibile.

Este utilă menționarea caracteristicilor surselor de care dispune noul laborator :

— tensiune de frecvență industrială : 5 unități de 550 kV, prin a căror dispunere se obțin tensiuni în gama 550—2 200 kV la puteri, în regim continuu, variind de la 75—1 800 kVA ;

— filtru de atenuarea perturbațiilor de 3 MV ;

— generatoare de impuls de 6 000 kV (450 kJ) și 4 000 kV (300 kJ) cu posibilitate de cuplare în paralel.

Articolul recenzat, prezintă un deosebit interes, întrucît comunică unele date deosebit de importante, într-un domeniu în care trecerea sistemului energetic la tensiuni mult ridicate față de cele cunoscute astăzi (pînă la 1 500 kV) va face să apară tehnici de încercări neprinse în normele actuale.

Fl. T.

CZ 621.319.3 ***Mașini electrostatise***

CZ 621.319.22 : 537.221

Burger, V. **Gama de deseăreătoare Brown Boveri.** Structura și utilizarea lor (L'assortiment des parafoudres Brown Boveri. Leur structure et leur utilisation) În : Revue Brown Boveri, **59**, nr. 4, 1972, p. 155—162, 4 ref.

În trecut, siguranța înaltă a sistemelor energetice se obținea prin ridicarea nivelului de izolație. Astăzi, menținerea aceluiași deziderat, siguranță înaltă, dar la un preț de cost redus, se face utilizînd descărcătoare, atît pe liniile de joasă cît și de medie și înaltă tensiune. În principiu, descărcătorul trebuie să execute două sarcini consecutive. Întîi, să aibă funcția unui întrerupător rapid, care la apariția unei supratensiuni să stabilească o legătură cu pămîntul, apoi, după ce defectul a dispărut, această legătură să se întrerupă, înainte de următoarea trecere prin zero a tensiunii. Rețelele de joasă tensiune, dat fiind tensiunea de începere de 2 000 V — nu sînt expuse supratensiunilor de manevră, periculoase fiind doar cele atmosferice. Pentru acestea s-a realizat seria de descărcătoare tip RV, ale căror caracteristici și condiții de montaj sînt prezentate.

În rețelele de medie tensiune, în afara supratensiunilor atmosferice, cele de comutație pot juca un rol important. Pentru aceste domenii s-au realizat două serii diferite de descărcătoare, unele de curent nominal 5 kA, — tip VG — — și altele, de curent nominal 10 kA — tip WG — . Partea activă se compune din eclatoare plate care permit să se obțină orice tensiune cuprinsă între 6—37 kV. Aceleași discuri pot fi utilizate, cu mici modificări, și pentru descărcătoarele de 40 — 100 kV, tip WGE. Se dau curbele de coordonare și tensiunile de amorsare a construcțiilor.

În cazul rețelelor de înaltă tensiune, numai descărcătoarele cu suflaj magnetic sînt cele ce pot satisface condițiile de protecție ce se impun. Seria de descărcătoare realizată, tip HM, prevede o nouă tehnică în ceea ce privește repartiția tensiunii prin capacitate și rezistență, atît pentru fiecare eclator, cît și pe o baterie de eclatoare, ceea ce permite o adaptare a caracteristicilor de amorsare la cerințele exploatării.

Articolul poate fi util în egală măsură constructorilor de descărcătoare, dar în special celor ce le utilizează.

Fl. T.

SOMMAIRE

CD 621.313.333.2.014.32

Andrei Radu : **Forces normales et tangentielles au moteur asynchrone linéaire de grande vitesse.**

Electrotehnica **21**, no. 2, fevr. 1973, p. 49–55

Au cours des dernières années, le moteur asynchrone linéaire de grande vitesse s'est imposé dans la traction électrique, devenant industriel a l'heure actuelle. Pour ce type de moteur, outre le fait de connaître la force de traction, on accorde une grande importance aussi à la détermination de la force normale qui actionne sur la surface des deux armatures de l'inducteur. Cette force normale devient importante pour les moteurs de grande puissance et l'on doit tenir compte de sa valeur lorsque l'on dimensione le système mécanique qui maintient les deux armatures de la machine l'une en face de l'autre.

Dans cet ouvrage on fait le calcul de cette force en partant des équations du champ électromagnétique, écrites pour la zone de l'entre-fer. Le modèle physique adopté se rapproche beaucoup du cas réel constructif de ce moteur. Les résultats obtenus sont interprétés du point de vue de leur importance pratique, et on tire des conclusions concernant le chiox des paramètres caractéristiques d'une machine de ce genre.

CD 621.314.263

Ghiță Constantin: **En ce qui concerne le calcul analytique du doubleur ferromagnétique de fréquence.**

Electrotehnica **21**, no. 2, fevr. 1973, p. 56–62

On calcule les caractéristiques externes du doubleur ferromagnétique de fréquence monophasé, alimenté en monophase, pour deus modes d'aproximation de la cractéristique magnétique des noyaux; au moyen d'une fonction exponentielle et par la fonction sinus hyperbolique.

CD 621.315.622–742 : 621.317.331

Vascan, Th., Tendler, M., Maricaru, M. et *Rucinschi, D.* : **Essais artificiels concernant le comportement des isolateurs pollués.**

Electrotehnica **21**, no. 2, fevr. 1973, p. 63–74

On présente les essais à la pollution artificielle par la méthode du brouillard salin, sur quelques isolateurs de suspension pour 110 kV et l'on fait des appréciations comparatives concernant leur comportement à la pollution du type électrolytique. L'ordre de mérite ainsi établi est confirmé, en général, aussi par les résultats des essais combinés sur des isolateurs exposés au cours de l'exploitation. On fait des considérations sur l'efficacité des graissanges de protection des isolateurs.

CD 621.317.72.015.33 :621.316.57.064.31

Hortopan, Gh. : **Les performances du diviseur de tension moxte série R. C.**

Electrotehnica **21**, no. 2, fevr. 1973, p. 74–79

Partant de l'idée de réaliser un diviseur de tension apte à mesurer la tension de l'arc électrique et la tension oscillante de rétablissement, lors des essais des appareils de commutation, on analyse les performances du diviseur de tension moxte série R.C. zinsi, on présente la réponse à l'excitation-série et la caractéristique de fréquence pour quatre variantes de schémas. La bande de fréquence intrinséque du diviseur est comprise entre 1 Hz et 4 Mz.

CD 621.382.3 Ge : 537.311.33

Poenaru D. N. : **Approximations du rapport vitesse — champ électrique pour les porteurs de charge dans les détecteurs coaxiaux Ge (Li)**

Electrotehnica **21**, no. 2, fevr. 1972, p. 80–85

On propose deux expressions analytiques simpels pour approximer la dépendance de la vitesse des porteurs de charge vis-à-vis de l'intensité du champ électrique, qui permettent de calculer la forme des impulsions électriques fourniers par les détecteurs coaxiaux Ge (Li), comme réponse aux radiations nucléaires.

COMPTES-RENDUS 86
REFERATS 87

CONTENTS

DC 621.313.333.2.014.32

Andrei Radu: **Normal and tangential forces developing in high speed motors with reciprocating movement**

Electrotennica **21**, No 2, Febr. 1973, p. 49–55

The high speed motor with reciprocating movement widely used at present in electric traction, has become an industrial motor. It is therefore very important to know its tractive force and also to assess the normal force which operates on the surface of the two armatures of the inductor. This normal force becomes very significant in high power motors and one must take account of its magnitude in dimensioning the mechanical system which maintains the two armatures of the machine opposite each other. The author calculates this force starting the electromagnetic field equations written for the armature gap area. The physical model adopted is very close to the real motor. The results are interpreted form the practical viewpoint, regarding the choice of the parameters of such motors.

DC 621.314.263

Vascan, Th., Tendler, M., Maricaru, M. and *Rucinschi, D*: **Study of the behaviour of artificially polluted insulators.**

Electrotehnica **21**, No 2, Febr. 1973, p. 63–74

The authors present the experiments of artificial pollution by saline mist of 110 kV suspended insulators, describing their behaviour under electrolytic pollution conditions. The experimental results were confirmed by the study of insulators actually mounted on electric lines. The paper appreciates the efficacy of insulator — protecting grease.

DC 621.315.622–742 : 621.317.331

Ghiță Constantin : **About the analytical calculation of ferromagnetic single-phase frequency doublers.**

Electrotehnica **21**, No 2, Febr. 1973, p. 56–62

The author calculates the external characteristics of a single-phase frecuency doubler (sinqgle phase supply) for two ways of approximating the magnetic characteristics of the cores: by means of an exponential function and by means of hyperbolic sine function.

DC 621.317.72.015.33 :621.316.57.064.31

Hortopan, Gh. : **The performances of R.C. series compound potential divider.**

Electrotehnica **21**, No 2, Febr. 1973, p. 74–79

Aiming to achieve a potential divider capable to measure the electric arc voltage and the oscillation recovery voltage, in testing commutation apparatus, the author analyses the performances of a R.C. series compound potential divider. The paper provides the response to step-excitation and the frequency response for four variants. The band of frequence of the divider ranges between 1 Hz and 4 MHz.

DC 621.382.3Ge: 537.311.33

Poenaru, D. N. : **Approximations of the relation speed — electric field for charge carriers in Ge (Li) co-axial detectors.**

Electrotehnica **21**, No 2, febr. 1973, p. 80–85

The author proposes two simple analytical approximation expressions of the dependence of the charge carriers'speed on the intensity of the electric field, which permit to calculate the shape of the electric impulses supplied by (Ge Li) co-axial detectors in response to nuclear radiations.

BOOK REVIEW 86
REPORTS 87

90

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.313.333.2.014.32

Andrei, Radu: **Normal-und Tangentialkräfte beim schnellaufenden linearen Asynchronmotor**

Electrotehnica 21, H. 2, Febr. 1973, S. 49–55

In letzter Zeit findet der schnellaufende lineare Asynchronmotor im elektrischen Antrieb breite Verwendung und wird zur Zeit in industriellem Masstab eingesetzt. Von besonderer Wichtigkeit ist beim diesem Motor, ausser der Kenntnis der Zugkraft, auch die Bestimmung der Normalkraft, die auf die Oberfläche der beiden Induktorbewehrungen wirkt. Diese Normalkraft ist bei leistungsstarken Motoren von besonderer Bedeutung, und ihre Grösse muss bei der Bemassung der mechanischen Systems, das die beiden Bewehrungen der Maschine gegenüber hält, in Betracht gezogen werden.

Der Verfasser berechnet diese Kräfte, indem er von den Gleichungen des elektromagnetischen Feldes im Luftspalt ausgeht. Das angenommene physikalische Modell, kommt dem realen konstruktiven Fall dieses Motors sehr nahe. Die erzielten Ergebnisse werden vom Standpunkt ihrer praktischen Bedeutung ausgewertet und Schlussfolgerungen in bezug auf die Auswahl der Kennparametern einer solchen Maschine gezogen.

DK 621.314.263

Ghiță, Constantin : **Über die analytische Berechnung des ferromagnetischen Frequenzdopplers**

Electrotehnica 21, H. 2, Febr. 1973, S. 56–62

Es werden die äusseren Charakteristiken des einphasigen ferromagnetischen Frequenzdopplers, mit einphasiger Speisung, für zwei Annäherungsvoeisen der magnetischen Charakteristik der Kerne und zwar durch eine exponentielle Funktion und durch die hyperbolische Sinusfunktion berechnet.

DK 621.315.622–742 :621.317.331

Vascan, Th., Tendler, M., Maricaru, M. und *Encinschi, D.*: **Künstliche Versuche in bezug auf das Verhalten verunreinigter Isolatoren**

Electrotehnica 21, H. 2, Febr. 1973, S. 63–74

Hängeisolatoren für 110 kV werden Versuchen der künstlichen Verunreinigung durch das Verfahren des Salznebels im Hinblick auf ihr Verhalten unterzogen und Vergleich zu ihrem Verhalten bei elektrolytischer Verunreinigung gezogen. Die dabei erzielten Werte werden im allgemeinen von kombinierten Versuchen an den in Betrieb befindlichen Isolatoren bestätigt. Es werden Schlussfolgerungen in bezug auf die Wirksamkeit der Schutzfette für Isolatoren gezogen.

DK 621.317.72.015.33 : 621.316.57.064.31

Hortopan, Gh. : **Leistungen des gemischten Spannungsteilers, Serie R. C.**

Electrotehnica 21, H. 2, Febr. 1973, S. 74–79

Vom Bestreben ausgehend, einen Spannungsteiler für das Messen der Lichtbogenspannung und der wiederkehrenden Schwingungsspannung bei der Testung der Schaltapparate zu entwickeln, werden die Leistungen des gemischten Spannungsteilers, Serie R. C. analysiert. Es wird das Ansprechen auf eine gestaffelte Erregung und die Frequenzcharakteristik für vier Austauschvarianten dargelegt. Das eigentliche Frequenzband des Trenners liegt zwischen 1 Uz und 4 Mz.

DK 621.382.3Ge : 537.311.33

Poenaru, D. N.: **Annähernde Berechnung der Beziehung Geschwindigkeit — elektrisches Feld für Spannungsträger der Koaxialdetektoren Ge (Li)**

Electrotehnica 21, H. 2, Febr. 1973, S. 80–85

Es werden zwei einfache analytische Näherungsausdrücke für die Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Spannungsträger von der Intensität des elektrischen Feldes vorgeschlagen. Diese gestatten die Berechnung der Form der, von den Koaxialdetektoren Ge (Li), als Antwort auf die Kernstrahlung gelieferten elektrischen Impulse.

BUCHBESPRECHUNGEN 86
REFERATE 87

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.313.333.2.014.32

Андрей Раду: **Нормальные и касательные силы в линейном скоростном асинхронном двигателе**

Electrotehnica **21**, № 2, февраль, 1973, стр. 49–55

В последнее время линейный скоростный асинхронный двигатель проявил себя в электрической тяге и достиг в настоящем промышленного значения. Большое значение в этом типе двигателя имеет, кроме установления силы тяги, и определение нормальной силы, действующей на поверхность обеих арматур индуктора. Эта нормальная сила становится особенно важной для мощных двигателей, причем ее величину необходимо учитывать при определении размеров механической системы, поддерживающей обе арматуры машины одна против другой.

В настоящей работе проводится расчет этой силы, исходя из уровней электромагнитного поля, вписанных для зоны воздушного зазора. Принятая физическая модель очень близка к действительному конструктивному случаю этого двигателя. Полученные результаты рассматриваются с точки зрения их практического значения и делаются выводы в том , что касается выбор характерных параметров этой машины.

ДК 621.314.263.

Гицэ Константин:: **Об аналитическом расчете ферромагнитного двигателя частоты**

Electrotehnica **21**, № 2, февраль 1973, стр. 56–62

Вычисляется внешняя характеристика однофазного ферромагнитного удвоителя частоты, питаемого от однофазной системы для двух способов приближения магнитной характеристики сердечников: путем экспоненциальной функции и путем синусоидального гиперболического действия.

ДК 621, 315. 622–742 : 621.317.331

Васкан, Т., Тендлер, М., Марикару, М. и *Ручински Д.*: **Искусственное испытание поведения загрязненных изоляторов**

Electrotehnica **21**, № 2, февраль, 1973, стр. 63–74

Приводятся испытания, проведенные при искусственном загрязнении методом солевого тумана подвижных изоляторов для 110 кв и сравнительные оценки их поведения при загрязнении электролитического типа. Правильность установленного метода подтверждается также и результатами комбинированных испытаний, проведенных на изоляторах в эксплуатации.

В заключении отмечается рациональность предохранительной смазки изоляторов.

ДК 621.317.72.015.33 : 621.316.57.064.31

Хортопан, Г.: **Характеристика смешанного делителя напряжения серии R.C.**

Electrotehnica **21**, № 2, февраль 1973, стр. 74–79

Исходя из концепции осуществления делителя напряжения, предназначенного для измерения напряжения электрической дуги и колебательного восстановливающего напряжения, при испытании коммутационных приборов, анализируется характеристика смешанного делителя напряжения серии R.C. Таким образом можно получить ответ на ступенчатое возбуждение и характеристику частоты для четырех вариантов схемы. Внутренняя полоса частот делителя заключается между 1 гц и 4 гц.

ДК 621.382.3 Ge : 537.311.33

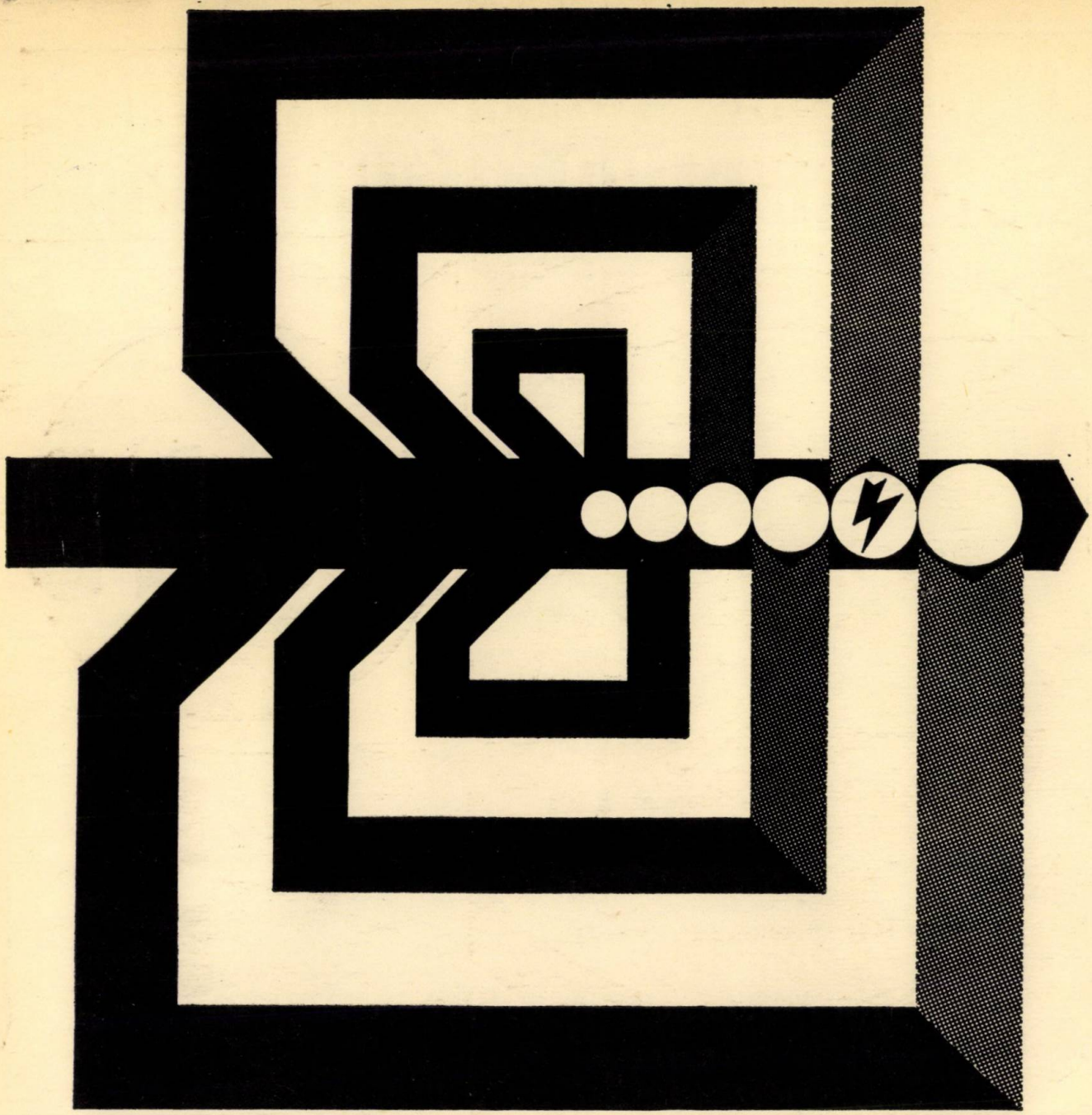
Поенару, Д. Н.: **Проксимация соотношения скорость-электрическое поле для носителей нагрузки в соосных детекторах Ge(Li)**

Electrotehnica **21**, № 2, февраль 1973, стр. 80–85

Предлагаются два простых аналитических выражения проксимации зависимости скорости носителей нагрузки от интенсивности электрического поля, при помощи которых можно вычислить форму электрических импульсов, осуществляемых соосными детекторами Ge (Li), как ответ на ядерные излучения.

РЕЦЕНЗИИ 86
ДОКЛАДЫ 87

MŰSZAKI KÖNYVTÁR



Atestarea prin medalii de aur, diplome şi referinţe a tehnicii de calitate care asigură un mare randament

La Tîrgul de primăvară de la Leipzig 1973 aveţi şi dv. posibilitatea să vă convingeţi.

ELEKTROTECHNIK EXPORT-IMPORT prezintă un program vast de aparate şi instalaţii din domeniul electrotehnic şi electronic din Republica Democrată Germană, cuprinzînd multe noutăţi şi produse perfecţionate pentru procedeele de raţionalizare şi automatizare. Cu produse noi, cît şi cu produse care şi-au dovedit calitatea, veţi putea rezolva problemele dv. de modernizare a tehnicii. Specialişti cu mare experienţă din întreprinderile noastre de comerţ exterior vă stau la dispoziţie cu informaţii.

In perioada 11—18 martie 1973 aşteptăm vizita dv. în birourile pavilionului 18 de pe terenul tîrgului.

Informaţii puteţi obţine la:

Biroul tehnic-comercial al întreprinderii de comerţ exterior Electrotechnik din cadrul Secţiei Comerciale de pe lîngă Ambasada R.D.G. în R.S.R., Calea Dorobanţilor 14 Bucureşti

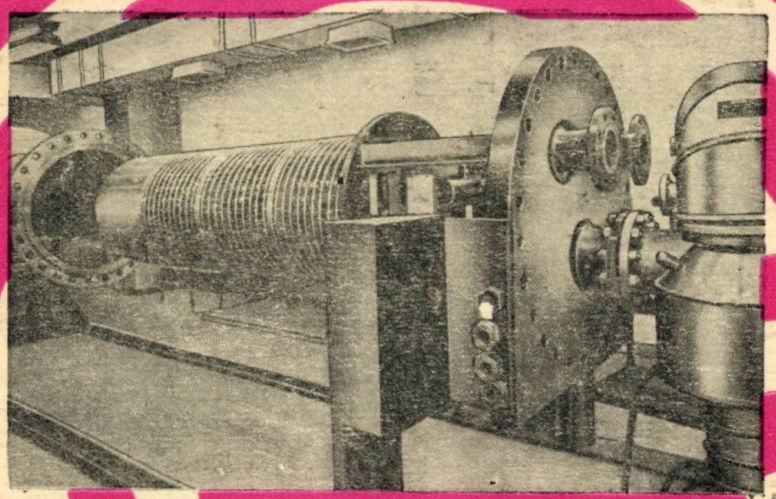
Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR 102 BERLIN·ALEXANDERPLATZ
HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE

PUBLICOM

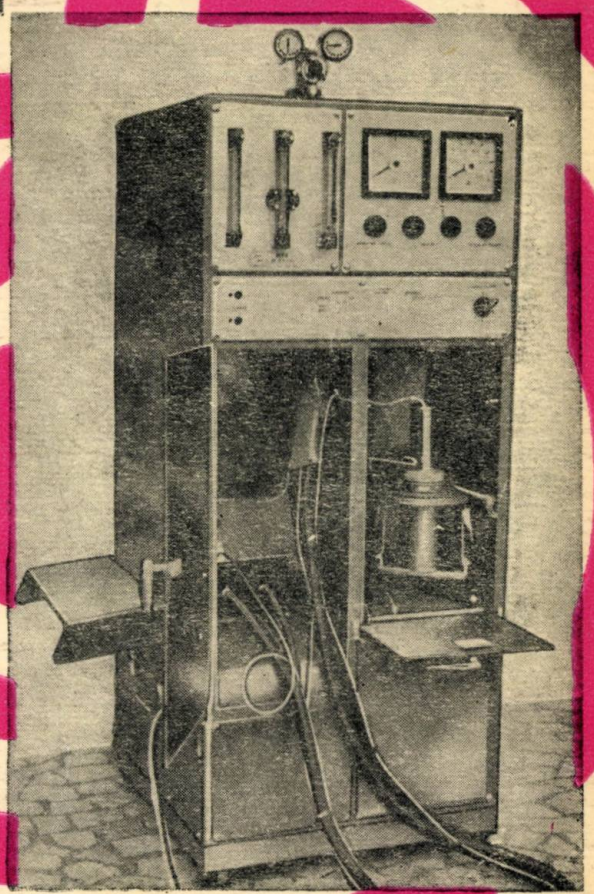
INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I

1973 MAI 3 01



ICPE



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive !

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine !

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dvs., doriți standuri și metode de încercări care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele !

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite ?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standurî de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 ani în activitate care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

Telefonați la : 31.41.00

BUCUREȘTI BD. T. VLADIMIRESCU Nr. 45–47 Telefon ; 31.41.00

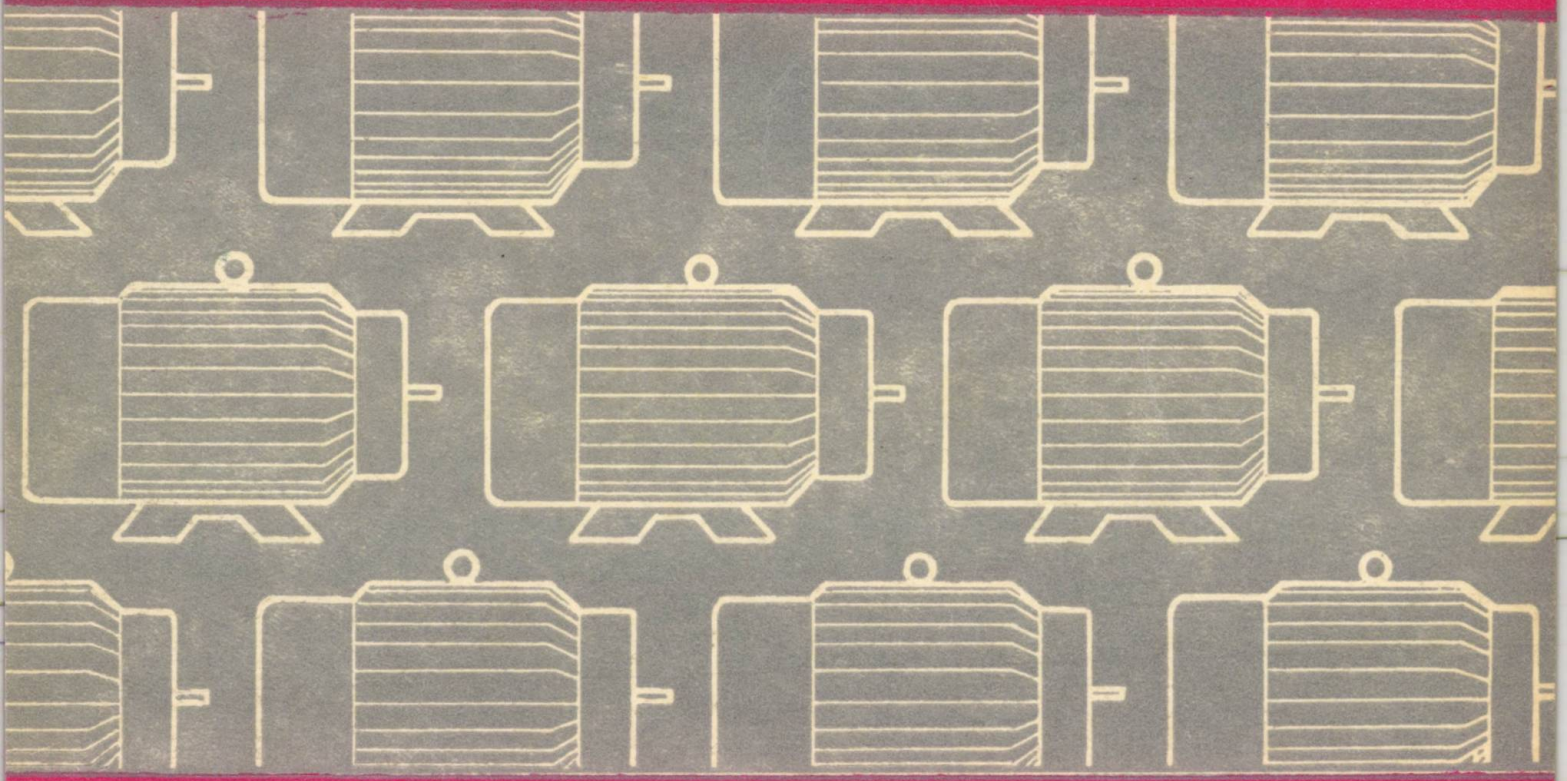
E2040

R

ELECTROTEHNICA

Mislay

PETERALVA



3

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 21 • Nr. 3 • MARTIE 1973

I.P.R.S. Băneasa

REZISTOARE
— cu peliculă de carbon
— bobinate

TERMISTOARE
— ceramice

CONDENSATOARE
— polistiren (tip styroflex)
— poliester metalizat
— hîrtie metalizată
— hîrtie echipament auto
— hîrtie antiparazitare
— hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
— normale
— miniatură
— nepolarizate

CONDENSATOARE CERAMICE
— disc
— tubulare
— plachetă
— ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

TRANZISTOARE
— de joasă frecvenţă
— de înaltă frecvenţă şi comutaţie
— de putere

DIODE
— de semnal şi comutaţie
— redresoare
— redresoare pentru curenţi mari
— stabilizatoare de tensiune
— de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 3, pag. 89 — 128 martie 1973

CUPRINS

CZ 537.322/4 : 621.352.12

Marinescu, M. : **Un nou efect termo-electric, constatat experimental**

Electrotehnica 21, nr. 3, martie 1973, p. 89—94

Se arată că într-un circuit închis constînd dintr-un semiconductor încadrat între două metale de natură diferită, circuit menținut la o temperatură constantă și uniformă, apare, contrar legii lui Volta și diferit de efectul Seebeck, o forță electromotoare rezultantă, nenulă.

Dispozitivul experimental folosit permite și realizarea unui gradient de temperatură controlat de-a lungul circuitului. La schimbarea sensului gradientului, contrar efectului Seebeck, forța electromotoare rezultantă nu schimbă de sens, dovedind existența unei forțe electromotoare independentă de gradientul de temperatură.

CZ 621.3.014.31.001.25 : 621.316.573

Hortopan Gh. și *Truşcă V.* **Modele matematice ale arcului electric în contactoarele de joasă tensiune de curent alternativ**

Electrotehnica 21, nr. 3, martie 1973, p. 95—101

Se prezintă un model matematic, în trei variante, care descrie fenomenele din camera de stingere a contactoarelor de joasă tensiune de curent alternativ.

Acest model prezintă importanță și utilitate deoarece permite aprecierea căldurii cedate de arcul electric în camera de stingere, putînd servi totodată ca instrument de precalculare a camerelor de stingere, care funcționează după principiul efectului de electrod.

CZ 621.3.014.31.001.25 : 621.316.5.064.4

Sasu Mimi : **Stabilirea condițiilor de trecere de la stingerea la reaprinderea unui arc electric descris de ecuația lui Mayr.**

Electrotehnica 21, nr. 3, martie 1973, p. 101—108

Lucrarea prezintă rezultatele cercetării efectuate de autor, cu ajutorul unui calculator analogic, în vederea stabilirii condițiilor în care se poate produce trecerea de la regimul de stingere al unui arc electric de întrerupere, la regimul de reaprindere, caracteristic unei deconectări nereușite a circuitului. Arcul electric a fost modelat pe baza ecuației diferențiale neliniare a lui Mayr.

CZ 621.313.333.1 — 566.076.2

Burcea, T. : **Domeniile regimurilor de viteză ale motorului asincron de macara cu turație continuu variabilă.**

Electrotehnica 21, nr. 3, martie 1973, p. 109—119

Se prezintă pe scurt metodele folosite în tehnica modernă pentru a obține turații variabile la un motor asincron de macara. Se arată apoi în planul *M-n*, domeniul regimului tranzitoriu posibil *Dtp* al unui astfel de motor, înzestrat cu dispozitive de variere continuă a rezistenței rotorice și a secțiunii statorice. Este delimitat pe aceeași diagramă, pentru cazul particular al mecanismelor de ridicare-coborîre, domeniul regimului tranzitoriu realizabil *Dtr* și al regimului staționar de viteză *Ds*.

Descrierea s-a făcut prin raportare la un sistem de coordonate *M-n* legat de spațiul fix (al statorului), ajungîndu-se astfel la concluzii și ecuații universal valabile în orice regim de funcționare și în orice cadru al diagramei *M-n*.

CZ 621.337.522

Oprişor, M. : **Aplicarea frînării cu recuperare la tramvaiul I.T.B. — provincie.**

Electrotehnica 21, nr. 3, martie 1973, p. 119—127

Este analizată modalitatea introducerii frînării cu recuperare la tramvaiele ITB-provincie, în condițiile obținerii unei economicități și eficiențe maxime. Sînt prezentate criteriile de alegere a valorii optime a rezistenței de stabilizare.

Sînt discutate caracteristicile de frînare și de reglaj, corespunzătoare soluției alese.

Referate 127—128

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPAȘCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director : 14.62.67. Redacția : București, str. Mândinești nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, *c. 2531. Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P. nr.* 137/10078/1972

41 400

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI-UNELTE ȘI ELECTROTEHNICII ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ȘI PUBLICAȚII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 Nr. 3 București, martie 1973

OMKDK MŰSZAKI KÖNYVTÁR 1883

Un nou efect termo-electric, constatat experimental

MATEI MARINESCU* — București

CZ 537.322/4 : 621.352.12

1. Introducere

Plecînd de la lucrările lui Vasilescu-Karpen asupra pilelor electro-chimice, [1], [2] lucrări în care se găsește elaborată o teorie a t.e.m. de contact între două medii nemiscibile : electrod metalic-electrolit, teorie avînd ca scop explicarea funcționării unor pile cu apariția de energie, unde, aparent, nu se producea reacție chimică, am avut ideea de a înlocui electrolitul cu un semiconductor. S-a realizat astfel un contact (joncțiune) metal-semiconductor, generalizîndu-se teoria lui Vasilescu-Karpen la acest caz, în care rolul cationilor și al anionilor din electrolit este preluat de electroni și golurile semiconductorului. Cum în această situație nu mai poate fi vorba de reacție chimică, întotdeauna posibilă, chiar dacă este necunoscută, în cazul contactului electrod-electrolit, obiecția care întotdeauna s-a făcut teoriei lui V. Karpen a prezenței inevitabile a unei reacții chimice între electrolit și electrod cade de la sine — în cazul în care experiența ar pune într-adevăr în evidență apariția unei t.e.m. rezultante într-un circuit constituit din 2 metale diferite și un semiconductor între ele.

Dar după cum în cazul pilelor obiecția se referea la prezența prezumtivă a unei reacții chimice ascunse, în cazul nostru se poate face întotdeauna obiecția unui gradient de temperatură ascuns și care conform efectului Seebeck ar produce t.e.m. în circuit.

În cele ce urmează, în dispozitivele prin care vom pune în evidență noul efect, s-a încercat să se ia toate măsurile pentru a elimina prezența fortuită a unui gradient de temperatură sau să se producă deliberat un gradient de temperatură controlabil, separînd noul efect de efectul Seebeck prin proprietățile sale diferite.

* Prof. *M. Marinescu* este cercetător științific principal I la I.C.P.E.T.

2. Descrierea dispozitivului experimental

În figura 1, este reprodus, schematic, dispozitivul experimental prin care s-a pus în evidență noul efect prin producerea unei t.e.m. rezultantă într-un lanț constituind un circuit închis, compus din 2 metale diferite și un semiconductor.

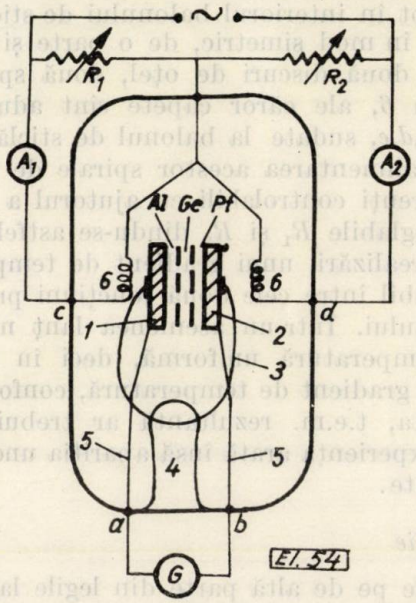


Fig. 1

Astfel, într-un balon de sticlă, cu vid înaintat, se găsesc două discuri din oțel inox *1* și *2* presate unul contra celuilalt printr-o sîrmă de volfram în formă de U, *3*, ale cărei extremități strîng între ele, prin intermediul a 2 plăcuțe izolante de sticlă și prin elasticitate proprie, cele două discuri. Pe fețele interioare ale discurilor sînt depuse prin evaporarea în vid *3* pături subțiri de Al, Ge și Pt în ordinea de suc-

cesiune din figură. De la feţele exterioare ale discurilor pleacă 2 fire de nichel *5* ale căror capete opuse sînt lipite de două fire scurte de wolfram, constituind bornele de ieşire *a* şi *b* sudate de balonul de sticlă şi care permit culegerea curentului la aparatele de măsură exterioare. S-a constituit astfel un lanţ închis arătat schematic în figura 2 în care avem o

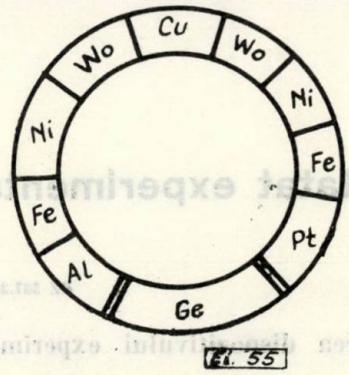


Fig. 2

succesiune de joncţiuni (dintre acestea pe două le vom numi principale şi anume: Al/Ge şi Pt/Ge), care după cum vom vedea sînt singure răspunzătoare de producerea t.e.m. rezultantă în circuit.

Tot în interiorul balonului de sticlă, sînt dispuse în mod simetric, de o parte şi de alta a celor două discuri de oţel, două spirale de wolfram *6*, ale căror capete sînt aduse la 3 borne *c,d,e*, sudate la balonul de sticlă şi care permit alimentarea acestor spirale de la reţea prin curenţi controlabili cu ajutorul a 2 rezistenţe reglabile R_1 şi R_2 dîndu-se astfel posibilitatea realizării unui gradient de temperatură controlabil între cele două joncţiuni principale ale lanţului. Într-un asemenea lanţ menţinut la o temperatură uniformă, deci în absenţa oricărui gradient de temperatură, conform legii lui Volta, t.e.m. rezultantă ar trebui să fie nulă. Experienţa arată însă apariţia unei t.e.m. rezultante.

Observaţie

Se ştie pe de altă parte din legile lanţurilor metalice, (legea metalelor intermediare), că pentru ca legea lui Volta să fie aplicabilă nu este nevoie ca întreg lanţul din figura 2 să fie la aceeaşi temperatură şi anume de la porţiunea metalică de cupru în care s-a realizat o tăietură poate să pornească două fire de cupru (ceea ce corespunde bornelor *a* şi *b* din figura 1), la un galvanometru care să fie la temperatura camerei, în timp ce lanţul să fie adus la o temperatură oarecare fără ca t.e.m. rezultantă să-şi schimbe valoarea, faţă de aceea obţinută în cazul în care şi galvanometrul s-ar găsi la temperatura lanţului, cu singura condiţie ca bornele *a* şi *b* să fie la aceeaşi temperatură.

3. Stabilirea joncţiunii răspunzătoare de t.e.m. produsă

Pentru a dovedi că singură joncţiunea principală este răspunzătoare de producerea t.e.m. a fost realizat un al 2-lea balon de sticlă, identic cu primul, cu singura diferenţă că depunerea de platină este înlocuită cu o depunere de aluminiu identică cu aceea depusă pe discul *1* (figura 1). Rezultatul este că în aceeaşi condiţie de încălzire uniformă, ca şi în cazul precedent, t.e.m. rezultantă este de astă dată nulă. Pentru a obţine totuşi o t.e.m. rezultantă şi în acest caz, va fi nevoie de realizarea unui gradient de temperatură, producător de efect Seebeck. Putem astfel compara efectul unei disimetrii produse în lanţ prin natura diferită a joncţiunilor la aceeaşi temperatură, cu aceea produsă prin gradientul de temperatură la 2 joncţiuni identice.

4. Influenţa naturii joncţiunilor

Experienţa arată că cu cît energiile de extracţie a celor două metale diferă mai mult cu atît t.e.m. produsă este mai mare. De asemenea, t.e.m. creşte odată cu temperatura şi cu gradul de puritate a semiconductorului. În fine, tot experienţa arată că, metalul cu energia de extracţie cea mai mare este întotdeauna polul pozitiv. Se pot astfel ordona metalele după mărimea t.e.m. produsă într-un lanţ închis în condiţii omoterme, faţă de un metal luat ca reper.

Din aceste constatări experimentale rezultă posibilitatea de a separa efectul Seebeck de noul efect, în cazul cînd avem suprapunerea celor 2 efecte. Într-adevăr, inversînd sensul gradientului de temperatură, ceea ce este posibil, în montajul din figura 1, prin reglajul în consecinţă a rezistenţelor R_1 şi R_2, t.e.m. Seebeck schimbă de sens în timp ce noua t.e.m. îşi păstrează sensul dat de ordinea de succesiune a depunerilor, care rămîne aceeaşi (în dispozitivul din figura 1, Pt fiind polul pozitiv). Vom arăta în cele ce urmează şi altă proprietate prin care noul efect diferă de efectul Seebeck şi permite separarea lui. Aici se mai impune o observaţie şi anume că, dat fiind că polaritatea generatorului termo-electric astfel constituit este întotdeauna dată de o anumită ordine de succesiune a păturilor depuse şi anume că polul pozitiv se găseşte întotdeauna la joncţiunea cu metalul care are energia de extracţie cea mai mare, sîntem îndreptăţiţi să afirmăm că nu avem de-a face cu

eventuale gradiente de temperatură care sînt aleatorii, datorită lipsei de simetrie perfectă în construcția dispozitivului, simetrie perfectă care niciodată nu poate fi practic realizabilă. Asemenea gradiente de temperatură aleatorii ar trebui să dea sensuri aleatorii pentru t.e.m. Seebeck și nicidecum un singur sens, acela de la metalul cu energia de extracție mai mare către metalul cu energia de extracție mai mică.

5. Regim tranzitoriu

Noul efect, pe care îl vom denumi : de gradient, de concentrație de electroni sau mai pe scurt, de concentrație, se mai distinge de efectul Seebeck prin aceea că are o viteză de apariție și dispariție mult mai mică decît aceea a efectului Seebeck, care depinde de viteza de stabilire sau de dispariție a gradientului de temperatură, adică în definitiv de viteza de stabilire a echilibrului termic între 2 corpuri în contact. Astfel, să presupunem că întrerupem brusc curentul în cele 2 spirale după ce, în prealabil, cu ajutorul rezistențelor R_1 și R_2 am anulat curentul în galvanometru G. Presupunînd că avem de-a face numai cu t.e.m. datorită efectului Seebeck, aceasta înseamnă că sistemul se găsește în echilibru termic, că temperatura de-a lungul lanțului este aceeași. În aceste condiții ar trebui ca în întreaga perioadă de răcire echilibrul termic să se păstreze și în consecință t.e.m. și curentul să fie în permanență nule, deoarece sistemul nu poate ieși spontan din echilibru ; cu alte cuvinte căldura să treacă de la un corp rece la altul cald fără aport de energie extern (anexă), prezența unei reacții chimice fiind exclusă după cum se va vedea mai departe. Dar experiența arată că, în mod contrar acestei prevederi, galvanometrul este parcurs în toată perioada de răcire de un curent a cărui alură se vede în figura 3, curba punctată, constituită dintr-o porțiune ascendentă scurtă și o porțiune descendentă mult mai lungă. Acest efect neașteptat nu poate proveni

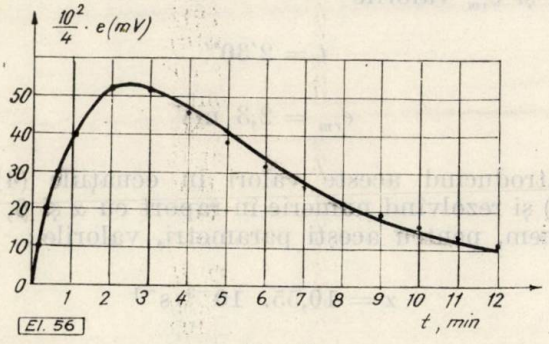


Fig. 3

decît din faptul că ceea ce am denumit echilibru termic nu este de fapt decît compensarea efectului Seebeck de către efectul de concentrație de electroni, compensare care nu se mai păstrează de-a lungul perioadei de răcire, dat fiind că echilibrul termic se stabilește repede și deci t.e.m. Seebeck dispare mult mai repede decît dispare t.e.m. datorită efectului de concentrație de electroni. Vom verifica în cele ce urmează curba teoretică dedusă pe baza considerațiilor de mai sus cu cea experimentală.

6. Verificări experimentale

Redăm în cele ce urmează rezultatele experiențelor efectuate pe dispozitivul din figura 1 și care pun în evidență efectul de concentrație de electroni prin proprietățile sale, în regim permanent și tranzitoriu, diferite de acelea ale efectului Seebeck, proprietăți care permit a-l indentifica ca efect nou, de sine stătător, independent de gradientul de temperatură și care apare atunci cînd joncțiunile metal-semiconductor sînt diferite, datorită naturii diferite a metalelor.

Regim permanent. La o încălzire corespunzătoare unui curent de 3 amperi în ambele spirale de wolfram, se realizează o încălzire omotermă fără gradient de temperatură, obținîndu-se o t.e.m., măsurată la galvanometru, de 0,7 mV (căderea de tensiune în interiorul generatorului fiind neglijabilă față de aceea a galvanometrului deoarece $r_i = 1\Omega$; $r_g = 100\Omega$ polul pozitiv fiind platina).

La o încălzire heterotermă cu gradient de temperatură controlabil au fost consemnate următoarele rezultate : încălzind aluminiul cu un curent de 3 amperi, în timp ce prin spirala de încălzire a platinei curentul este nul, se obține :

$$E_\Sigma = e_c + |e_T| = 0{,}57 \text{ mV}$$

Încălzind platina cu 3 amperi, în timp ce prin spirala de încălzire a aluminiului curentul este nul, obținem :

$$E_\delta = e_c - |e_T| = 0{,}47 \text{ mV}$$

Din cele prezentate rezultă :

$$e_c = \frac{E_\Sigma + E_\delta}{2} = 0{,}5 \text{ mV}$$

$$e_T = \frac{E_\Sigma - E_\delta}{2} = 0{,}05 \text{ mV} \qquad (1)$$

În aceste relații s-a notat cu e_T, t.e.m. Seebeck, și cu e_c, f.e.m. de concentrație de electroni.

Observație

Din datele experimentale astfel obținute, se vede că, încălzind de partea aluminiului, t.e.m. Seebeck este de același sens cu t.e.m. de concentrație, în timp ce încălzind de partea platinei, t.e.m. Seebeck este de sens contrar cu t.e.m. de concentrație. De asemenea, mai observăm că t.e.m. de concentrație este de 10 ori mai mare decît t.e.m. Seebeck. În cele 2 relații (1) și (2) valorile lui e_c și e_T rămîn aceleași deoarece avem $T_1 + T_2 =$ constantă.

În fine la o încălzire omotermă cu 1,5 amperi în ambele spirale, obținem :

$$e_c = 0{,}49 \text{ mV}$$

valoare foarte apropiată de aceea obținută în condiții heteroterme, cînd am obținut $e_c = 0{,}5$ mV. Mica diferență (0,5 — 0,49) în determinarea valorii t.e.m. de concentrație prin cele 2 căi omo- și heteroterme, provine de la faptul că deși suma curenților în cele 2 spirale a fost aceeași, în ambele determinări, suma temperaturilor nu a fost aceeași, dat fiind că temperaturile sînt în general proporționale și cu pătratul curenților.

În ceea ce privește variația lui e_c cu temperatura, am obținut curba din figura 4. Valorile lui e_c la temperaturi de peste 700°C au fost obținute cu un pirometru optic, iar cele sub

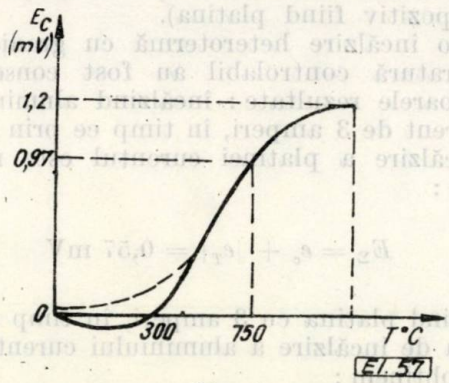


Fig. 4

300°C cu un termometru introducînd întreg balonul într-un cuptor electric. Asupra schimbării de sens a t.e.m. în domeniul temperaturilor cuprinse între 300°C și 0°C vom reveni într-o lucrare ulterioară.

Regim tranzitoriu. Experiența a decurs în modul următor : curenții de încălzire în cele 2 spirale au fost reglați astfel încît curentul în galvanometru să fie adus la zero. Trebuie precizat că experiența a fost făcută pe un alt prototip decît acela care a servit la experimentarea la regim permanent, în care după cum am văzut, t.e.m. de concentrație este de circa 10 ori mai mare decît t.e.m. Seebeck. În prototipul supus probei în regim tranzitoriu, t.e.m. Seebeck este de același ordin de mărime cu t.e.m. de concentrație, fapt care a permis să se obțină sensuri diferite ale curentului în galvanometru, odată cu schimbarea gradientului de temperatură, ceea ce după cum am văzut nu a fost posibil de realizat cu primul prototip, în care sensul curentului a rămas același, independent de sensul gradientului.

Încălzind, deci, spirala de partea platinei cu un curent de 3 A și spirala de partea aluminiului cu un curent de 1,5 A am obținut compensarea celor două t.e.m. (Seebeck și de concentrație) și deci anularea curentului în galvanometru. La întreruperea bruscă a celor 2 curenți de încălzire, s-a obținut, în funcție de timp, o curbă a t.e.m. rezultantă, redată în figura 3 (punctat), a cărei expresie analitică se poate deduce pe baza analizei ce urmează, care traduce în formă matematică considerațiile calitative exprimate în paragraful 5.

Fie (anexa apendice), $r_T(t) = \pm C_1 e^{-\alpha t}$, expresia analitică a variației în timp a f.e.m. Seebeck, iar $e_c(t) = C_2 e^{-\beta t}$ expresia analitică a variației în timp a t.e.m. de concentrație.

Vom avea deci, pentru t.e.m. rezultantă $e_r(t)$ expresia analitică : $e_r = e_c(t) \pm e_1(t) = C_2 e^{-\beta t} \pm C_1 e^{-\alpha t}$ unde $\alpha > \beta$ (paragraful 5).

Deoarece la $t = 0$, $e_r(0) = 0$, vom avea : $C_1 = C_2 = C$ și

$$e_r(t) = C(e^{-\beta t} - e^{-\alpha t}) \tag{3}$$

Ecuația (3) are un maxim pentru

$$t = t_m = \frac{1}{\alpha - \beta} \ln \frac{\alpha}{\beta} \tag{4}$$

cînd :

$$e_r(t_m) = e_{rm} = C\left[\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{\beta}{\alpha-\beta}} - \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha-\beta}}\right] \tag{5}$$

Din experiment (figura 3), am obținut pentru t_m și e_{rm} valorile

$$t = 2'30''$$

$$e_{rm} = 2{,}3 \text{ mV}$$

Introducînd aceste valori în ecuațiile (4) și (5) și rezolvînd numeric în raport cu α și β, obținem, pentru acești parametri, valorile :

$$\alpha = 10{,}55 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$\beta = 3{,}88 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

De asemenea, experiența ne permite să determinăm pe C, folosind următoarea observație : încălzind de partea aluminiului cu curenți tot

mai mari, iar de partea platinei cu curenți tot mai mici, menținînd însă în permanență suma pătratelor curenților de încălzire la o valoare constantă, vom obține pentru anumite valori ale celor 2 curenți de încălzire, situația că la întreruperea lor bruscă, maximul curbei $e_r(t) = e_c(t)$ să aibă loc tocmai în acest moment. Valoarea lui $e_r(0)$ în aceste condiții, ne dă tocmai pe C. Din măsurători am obținut $C = 6$ mV, astfel încît expresia analitică a lui $e_r(t)$ va fi dată de

$$e_r(t) = 6\,(e^{-3{,}88\cdot 10^{-3}t} - e^{-10{,}55\cdot 10^{-3}t}),\ \text{mV}.$$

Trasînd această curbă pe aceeași diagramă (figura 3) cu curba experimentală, constatăm coincidența lor aproape perfectă (curba plină = curba teoretică, curba punctată = curba experimentală) ceea ce verifică totodată și valabilitatea expresiei analitice $e_r(t) = C_2 e^{-\beta t}$ care ne dă variația în timp a t.e.m. de concentrație. *Observație.* Trebuie consemnat faptul că cele 2 expresii analitice date aici pentru $e_c(t)$ și $e_i(t)$ reprezintă o primă aproximație a unor expresii mai complicate, a căror determinare exactă urmează să fie făcută o dată cu elaborarea unei teorii a noului efect și care pentru definitivare necesită continuarea experiențelor și confirmarea a noi fapte în curs de a fi stabilite fără echivoc.

7. Argumente în sprijinul lipsei de reacție chimică. Originea energiei electrice produsă

După cum s-a menționat de la început, posibilitatea unei reacții chimice între metal și semiconductor, în timpul funcționării ca generator de energie electrică a sistemului descris, pare exclusă, ca urmare a următoarelor constatări:

— generatorul nu se polarizează nici după o punere îndelungată în scurtcircuit;

— cele două metale și semiconductorul sînt pături subțiri de circa 1 μm care, conform legilor lui Faraday, ar fi trebuit să fie consumate prin trecerea a cîtorva mii de coulombi care au traversat pînă în prezent aceste pături, ducînd inevitabil la anularea t.e.m. Experiența arată însă că, contrar acestei supoziții t.e.m. a rămas neschimbată la valoarea ei inițială;

— într-un generator termo-electric clasic este știut că energia provine din căldura care trece de la sursa caldă la sursa rece și nu dintr-o eventuală reacție chimică între metal și semiconductor. De aceea nimic nu ne îndreptățește să presupunem că, în cazul cînd în loc de un singur metal (cazul generatorului clasic), avem două metale diferite, energia provine dintr-o reacție chimică. Trebuie, deci, să admitem că energia electrică provine din căldura comunicată celor 2 joncțiuni însă nu datorită unui gradient de temperatură între acestea din urmă. Avem de-a face cu un generator termoelectric, funcționînd cu o singură sursă de energie.

8. Perspectivele dezvoltării cercetărilor

Evident că, de cîte ori știința a scos în evidență un nou efect, s-a pus și întrebarea cum poate el fi folosit în vederea unei aplicații. Dat fiind folosirea unei singure surse de căldură, pare verosimil că în condițiile unei izolații perfecte, întreaga căldură comunicată sistemului să fie transformată în energie electrică, spre deosebire de generatoarele termo-electrice funcționînd pe baza efectului Seebeck, unde majoritatea energiei trece de la sursa caldă la sursa rece, randamentul fiind dat de expresia binecunoscută:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

unde T_1 este temperatura absolută a sursei calde, iar T_2 temperatura absolută a sursei reci. Avantajul noului generator termoelectric ar consta deci, în primul rînd, în realizarea unui randament care teoretic poate atinge unitatea, în timp ce generatoarele termo-electrice clasice (cu efect Seebeck), nu pot depăși randamente de 10—15%. În același timp puterea specifică (Watt/dm^3), este de pe acum, chiar în stadiul actual, incipient al cercetărilor, superioară puterii specifice a generatoarelor termo-electrice ca urmare a faptului că în cazul noului generator, materialele active sînt constituite din pături subțiri în timp ce în generatoarele clasice este vorba de materiale active avînd dimensiuni de ordinul a cîtorva cm^3.

9. Concluzii

Deși pentru moment puterea electrică, dezvoltată de noul tip de generator termo-electric este mică, de ordinul a cîțiva μW (1mA. 1mV), iar prototipurile realizate au urmărit în primul rînd punerea în evidență, fără echivoc, a noului efect de producere a energiei electrice din căldură, totuși posibilitățile de depășire a stadiului actual se întrevăd de pe acum, dacă nu ar fi decît posibilitatea de înseriere a mai multor depuneri succesive. Ca urmare, cercetările se continuă, avînd drept scop elaborarea unei teorii complete a efectului.

ANEXĂ

Ne propunem să demonstrăm, în cele ce urmează, legea de variaţie în timp a gradientului de temperatură, în perioada de încălzire şi respectiv răcire, gradient ce se stabileşte între joncţiunile principale ale sistemului din figura 1. În acest scop vom izola sistemul, înlocuind legăturile sale cu mediul ambiant prin acţiuni şi reacţiuni ale mediului şi faţă de mediu.

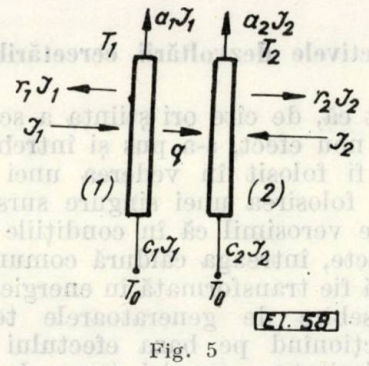


Fig. 5

Astfel, referindu-se la figura 5, care reprezintă după cum se vede cele 2 discuri metalice (suporţi), *1* şi *2*, (fig. 1) vom avea de exprimat echilibrul între ceea ce primeşte sistemul de la mediu, ceea ce restituie şi ceea ce păstrează pentru sine, ridicîndu-i temperatura.

Să presupunem deci, în această ordine de idei, că expunem faţa exterioară a discului *1* în vid, la o sursă de lumină de intensitate de radiaţie I_1 o parte a acesteia şi anume : $r_1 I_1$ se reflectă, o parte $C_1 I_1$ se va pierde prin conductibilitate termică, o altă parte q se va transmite tot prin conductibilitate termică, discului *2* şi în fine o parte $a_1 I_1 = \alpha_1 \int_0^t \Delta t$ va servi la ridicarea temperaturii discului *1* la temperatura T_1.

Exprimînd egalitatea căldurii primite de discul *1* cu căldura pierdută prin radiaţie şi conductibilitate şi cu aceea care serveşte la ridicarea temperaturii discului — într-un interval de timp dt, la orice moment t, obţinem relaţia :

$$I_1\,dt = r_1 I_1 dt + \alpha_1\,dT_1 + C_1 (T_1 - T_0)\,dt + \mu (T_1 - T_2)\,dt$$

în care, am neglijat infiniţii mici de ordinul 2 şi unde T_0 este temperatura bornelor exterioare (temperatura mediului ambiant).

Rezultă :

$$\alpha_1 \frac{dT_1}{dt} + (C_1 + \mu) T_1 - [C_1 T_0 + (1 - r_1) I_1] - \mu T_2 = 0 \quad (1)$$

şi o ecuaţie similară pentru discul *2* şi anume :

$$\alpha_2 \frac{dT_2}{dt} + (C_2 + \mu) T_2 - [C_2 T_0 + (1 - r_2) I_2] - \mu T_1 = 0 \quad (2)$$

ceea ce ne dă pentru temperaturile celor 2 discuri, sistemul de ecuaţii :

$$\alpha_1 \frac{dx}{dt} + \beta_1 x - a_1 - \mu y = 0 \quad (3)$$

$$\alpha_2 \frac{dy}{dr} + \beta_2 x - a_2 - \mu x = 0 \quad (4)$$

unde :

$$x = T_1,\ y = T_2$$

şi :

$$\beta_1 = (C_1 + \mu),\ \beta_2 = (C_2 + \mu)$$

$$a_1 = C_1 T_0 + (1 - r_1) I_1,\ a_2 = C_2 T_0 + (1 - r_2) I_2 \quad (5)$$

Calculul gradientului de temperatură : $z(t) = x(t) - y(t)$

Vom face acest calcul presupunînd că $C_1 = C_2$; $\alpha_1 = \alpha_2$, ceea ce corespunde situaţiei sistemului din figura 1, realizat experimental, sistem în care cele două discuri *1* şi *2* sînt identice, ca şi cele două fire *5* de colectare a curentului.

Observăm că, în aceste condiţii, ($C_1 = C_2 = C$) avem şi $\beta_1 = \beta_2 = (C + \mu)$. Făcînd înlocuirile corespunzătoare în *3* şi *4*, obţinem ecuaţia în Z :

$$\alpha \frac{dz}{dt} + (C + 2\mu)\, z + (1 - r_2)\, I_2 - (1 - r_1)\, I_1 = 0 \quad (6)$$

Sau, încă :

$$\alpha \frac{dz}{dt} + bz + \overline{\Delta I} = 0 \quad (6')$$

unde :

$$b = c + 2\mu\ ;\quad \overline{\Delta I} = (1 - r_2)\, I_2 - (1 - r_1)\, I_1$$

Soluţia ecuaţiei în z, (6′) care ne dă gradientul de temperatură, este :

$$z(t) = z_0 e^{-\frac{\alpha}{b} t} - \frac{\overline{\Delta I}}{b} \quad (7)$$

sau, luînd ca condiţii iniţiale : $t = 0$, $Z(0) = 0$, vom avea :

$$z(t) = \frac{\overline{\Delta I}}{b} \left(e^{-\frac{\alpha}{b} t} - 1 \right) \quad (7')$$

Expresia (7′) ne arată că, contrar experienţei, consideraţia unei t.e.m. datorită exclusiv efectului Seebeck, pune în evidenţă o creştere asimptotică a unei asemenea t.e.m. de la zero la $\pm\, \Delta I/2$ (şi nicidecum o creştere urmată de o scădere după cum necesită experienţa) în perioada de încălzire (în intervalul $0 \leqslant t \leqslant \infty$) şi o valoare identic nulă a ei, în tot timpul perioadei de răcire (în acelaşi interval), atunci cînd la $t = 0$, întrerupem brusc curentul de încălzire, deci cînd $\Delta I = 0$.

Avem deci o confirmare teoretică, a prezenţei unei t.e.m. diferită a t.e.m. Seebeck şi care suprapunîndu-se peste aceasta din urmă, produce efectul constatat experimental şi ilustrat în figura 3. Totodată confirmarea experimentală de la paragraful 3 a previziunii teoretice, exprimată de ecuaţia (7′), constituie o dovadă că premizele de calcul ($C_1 = C_2$, $\alpha_1 = \alpha_2$) corespund cazului real.

Bibliografie

[1] *Vasilescu-Karpen, N.* Fenomene şi teorii noi în electrochimie şi chimie fizică. Bucureşti, Editura Academiei R.S.R.

[2] *Marinesco, M.* La diffusion Karpen au contact metal electrolyte et la thermodynamique. În : C.R. Acad. Sci. Paris, **t. 262**, Seria C, 1, 20 iunie 1966, p. 1762—1765.

[3] *Marinesco, M.* L'électron solvaté, la d.d.p. entre 2 milieux non miscibles et la thermodynamique. În : R.G.E., t. **77**, nr. 11, Vp, 1064—1070.

[4] *Marinesco, M.* Sur une nouvelle classe de Piles electriques et le phénomene de la diffusion compensée. În : C.R. Acad, Sci. Paris, t, **268**, Seria C, 28 Avril 1969 p. 1492—1495.

[5] *Marinesco, M.* Sur certaines piles a effet Volta et phénomenes connexes. În : C.R. Acad. Sci. Paris, t **270**, Seria C, 16 Février 1970, p. 595—597.

Intrat în redacţie la 25. III. 1972

Modele matematice ale arcului electric în contactoarele de joasă tensiune de curent alternativ

GHEORGHE HORTOPAN şi VASILE TRUŞCĂ* — Bucureşti

CZ 621.3.014.31.001.25 : 621.316.57

1. Introducere

Se încearcă de mult timp să se găsească o expresie matematică care să descrie cît mai exact arcul electric în aparatele de comutaţie şi care să permită precalcularea comportării arcului în interdependenţă cu circuitul electric din care face parte. O astfel de relaţie ar fi, îndeosebi pentru tehnică, de mare interes şi în special pentru construcţia de aparate de comutaţie de joasă şi înaltă tensiune.

Un model matematic ar trebui să prezinte cantitativ cît mai bine proprietăţile arcului electric, proprietăţi care depind de tipul constructiv, de condiţiile locale din camera de stingere, precum şi de parametrii reţelei şi ai sarcinii. Este de dorit ca un model matematic să fie cît mai complet şi cît mai general pentru a aprecia proprietăţile arcului electric în orice condiţii de existenţă.

Din punct de vedere practic este extrem de dificil de găsit un asemenea model. Astfel, modelul Mayr, [1], descrie comportarea arcului electric în jurul trecerii prin zero a curentului.

Modelul lui Cassie, [2], explică comportarea arcului în afara trecerii prin zero. Rieder, [3], încearcă să explice, printr-un model Mayr completat, unele fenomene, cum ar fi dezechilibrul termic în coloana arcului electric. Alte modele, [4], [5] prezentate mai recent, reprezintă variante îmbunătăţite ale modelului Mayr.

Punctul slab al acestor modele matematice constă, în primul rînd, în aceea că, plecîndu-se de la modelul Mayr-Cassie nu s-a reuşit să se găsească o corelare fizică între noţiunile de constantă de timp, τ şi puterea disipată p_0, considerate în general constante şi soluţiile constructive de camere de stingere folosite la diferite tipuri de aparate de comutaţie.

De exemplu în modelul matematic prezentat de Halder şi Sanderson [6], pentru contactoarele de curent alternativ, tensiunea arcului creşte, chiar după ce criteriul de stingere a fost îndeplinit, aceasta datorită faptului că spaţiul dintre contacte a fost considerat ca un simplu rezistor. În acelaşi timp puterea disipată din coloana arcului este considerată constantă.

Dificultăţile majore în stabilirea modelului matematic stau mai ales în stabilirea funcţiei puterii p_0, disipată de arcul electric, precum şi în aprecierea corectă a constantei de timp τ a arcului electric, care nu în toate condiţiile poate avea semnificaţie şi utilitate.

În lucrarea de faţă se prezintă trei variante de modele matematice ale arcului electric care arde în camera de stingere, cu efect de electrod (plăcuţe feromagnetice deionizatoare). Modelele respective se referă la durata de ardere efectivă a arcului electric, adică în afara trecerii curenţilor prin zero. Cu ajutorul acestor modele se poate explica efectul limitator de curent, cu referire la amplitudine şi durata unei alternanţe.

2. Premize şi variante

În cele ce urmează se vor prezenta aspectele fizice şi teoretice care au servit ca suport modelelor în cele trei variante ca şi ecuaţiile care descriu modelele respective.

2.1. Modelul matematic fără a considera reacţia reţelei

Curentul din arcul electric s-a considerat în regim forţat; arcul electric nu influenţează forma sinusoidală a curentului aşa cum se vede în figura 1.

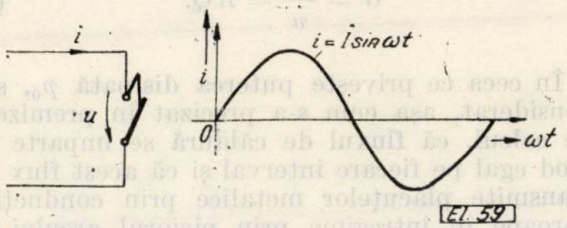


Fig. 1. Figură explicativă la varianta întîia de model de arc.

A doua premiză a fost aceea că arcul electric se stabileşte instantaneu (brusc) între plăcuţele de stingere şi rămîne stabilit, tensiunea repartizîndu-se uniform pe intervale, aşa cum s-a reprezentat în figura 2. În figura 2 a, s-a notat cu *1*, puntea mobilă a contactelor, cu *2*, subansamblul contact fix, cu *3*, plăcuţele de stingere şi cu *4*, coloana arcului electric, iar în figura 2b, s-a reprezentat schiţa unei plăcuţe de stingere.

Avînd aceste premize, se consideră bilanţul energetic din arc, pentru care se poate scrie:

$$dQ = (ui - p_0)\,dt,$$

* Prof. dr. ing. *Gh. Horlopan* este şef de catedră, iar ing. *V. Truşcă* este asistent la I.P.B.

respectiv:

$$\Delta Q = \int_{Q}^{Q_0} dQ = \int_{0}^{t} (ui - p_0)\, dt, \qquad (1)$$

unde:

u reprezintă tensiunea arcului electric;
i — curentul din arc;
p_0 — puterea disipată de arcul electric;
ΔQ — variaţia elementară a conţinutului de căldură.

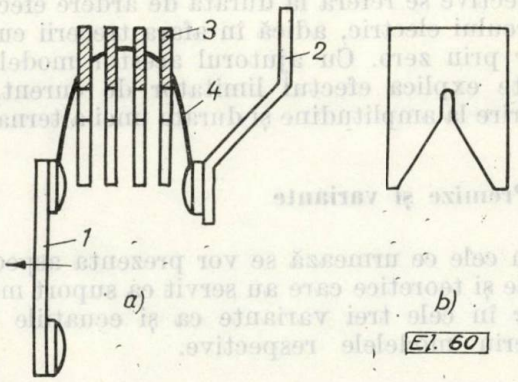


Fig. 2. Figură explicativă asupra deplasării arcului în camera de stingere, cu referire la varianta întîia de model de arc.

Admiţîndu-se o relaţie de proporţionalitate între conţinutul de căldură Q şi conductanţa G a arcului se poate scrie:

$$G = \frac{i}{u} = KQ. \qquad (2)$$

În ceea ce priveşte puterea disipată p_0, s-a considerat, aşa cum s-a precizat în premizele de calcul, că fluxul de căldură se împarte în mod egal pe fiecare interval şi că acest flux se transmite plăcuţelor metalice prin conducţie, aproape în întregime prin piciorul arcului şi numai o mică parte, neglijabilă, se transmite şi prin convecţie şi radiaţie.

În cazul curenţilor întrerupţi în contactoare, diametrul arcului calculat cu relaţiile existente în literatură, [7], [8], este de $1 \div 2$ mm, pentru un curent de 100A.

Din punct de vedere teoretic problema revine la rezolvarea ecuaţiei difuziei căldurii:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a\, \Delta\theta\,, \qquad (3)$$

unde, $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$, reprezintă difuzivitatea termică.

Temperatura la piciorul arcului fiind foarte mare, apropiată de temperatura de topire a materialului, în cazul de faţă, plăcuţe din material feromagnetic, se calculează răspunsul la injecţia de putere, considerată ca semnal treaptă.

Problema este rezolvată, [9], cu considerarea laplaceianului în coordonate carteziene, luîndu-se ca direcţie preferenţială de transmisie direcţia x, ceea ce constituie o primă aproximaţie ţinînd seama că plăcuţa are o grosime finită şi că se extinde şi perpendicular pe direcţia de ardere a arcului electric.

Soluţia finală este de forma:

$$\theta = \theta^* \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\nu_{dy}^2} \right], \qquad (4)$$

unde parametrul $z = \frac{x}{2k\sqrt{t}}$, $k = \frac{\lambda}{c\gamma}$, iar: $\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\nu_{dy}^2} dy = \Phi(z)$, reprezintă funcţia erorilor şi se găseşte tabelată [11].

Deci, arcurile electrice stabilite între plăcuţe, fiind scurte se poate considera că întreaga cantitate de căldură este transmisă celor două suprafeţe frontale de unde mai departe fluxul termic este transmis prin conductivitate.

Astfel, dacă se consideră că în primă aproximaţie întreaga cantitate de căldură se transmite numai prin conducţie, se poate scrie:

$$p_0 = \frac{dq}{dt} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} A\, \theta^* \sqrt{\lambda c_1} \cdot \frac{1}{2\sqrt{t}}, \qquad (5)$$

unde A, este aria prin care se transmite căldura, λ — coeficientul de transmisie prin conductivitate al materialului plăcuţei, c_1 — căldura specifică volumică, iar t — timpul.

Valoarea lui q, rezultă după cum urmează:

$$q = -2 \int_0^t \lambda A \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right)_{x=0} dt$$

şi a fost calculată, [9].

Dacă notăm:

$R = \frac{2A}{\sqrt{\pi}} \theta^* \sqrt{\lambda c_1}$, ca o constantă, se poate scrie:

$$p_0 = \frac{R}{\sqrt{t}} \qquad (6)$$

și introducem această valoare în ecuația (2). Considerînd curentul cu valoare forțată, $i = \hat{I} \sin \omega t$, se obține:

$$G = \frac{i}{u} = KQ = Q_0 + \int_0^t \left(ui - \frac{R}{\sqrt{t}} \right) dt. \quad (7)$$

Din relația (7) trebuie calculat u, care în cazul de față reprezintă căderea de tensiune pe un singur interval, căderea totală de tensiune în arc fiind egală cu numărul total de intervale înmulțit cu tensiunea care revine unui singur interval.

Derivînd ecuația (7) în ambii membrii și introducînd valoarea lui $i = \hat{I} \sin \omega t$, se ajunge la următorul rezultat:

$$\frac{du}{dt} - \frac{\omega \cos \omega t}{\sin \omega t} u - \frac{Kp_1}{\hat{I} \sin \omega t} \left(1 + \frac{R}{p_1 \sqrt{t}} \right) u^3 + Ku^3 = 0. \quad (8)$$

unde, pentru generalizare s-a considerat: $p_0 = p_1 + \frac{R}{\sqrt{t}}$, p_1 reprezentînd puterea disipată prin convenție și radiație.

Dacă se neglijează în primă aproximație această putere, adică se pune $p_1 = 0$, se obține următoarea relație:

$$\frac{du}{dt} - \frac{\omega \cos \omega t}{\sin \omega t} u - \frac{KR}{\hat{I} \sin \omega t \sqrt{t}} u^3 + Ku^3 = 0. \quad (9)$$

În această relație, este interesant de observat, că transmisia de căldură după direcția transversală pe plăcuță este proporțională cu $\sqrt{t}$.

2.2. Modelul matematic, cu considerarea reacției rețelei

Oscilogramele obținute la încercări [10], arată că pe durata arderii arcului apare o reducere a amplitudinii și o modificare a fazei de trecere prin zero a curentului. Concluzia este deci că apare o reacție, a arcului asupra formei curentului. Deci este util ca în premizele de calcul să intervină și ecuația circuitului din care face parte arcul.

Schema de principiu a circuitului este indicată în figura 3a, în figura 3b, fiind reprezentată tensiunea sursei, cu faza ψ corespunzătoare inițierii arcului electric, la separarea elementelor de contact.

A doua premiză de calcul, care s-a considerat la acest model matematic, este aceea că arcul electric intră progresiv (în timp) în camera de stingere, pe măsură ce crește cursa contactului mobil, crescînd astfel numărul de intervale, ceea ce se vede în figura 4, în cele 3 faze succesive *a*, *b*, *c*.

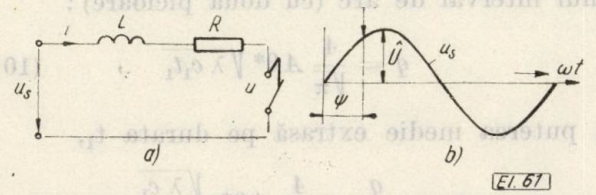


Fig. 3. Figură explicativă la varianta doua de model de arc.

Deoarece durata de ardere a arcului electric în contactoare este în general de o semiperioadă se poate aprecia că puntea mobilă 1 se deplasează în aproximativ 5—10 ms.

Pentru a aprecia energia extrasă din coloana arcului, respectiv puterea medie disipată prin

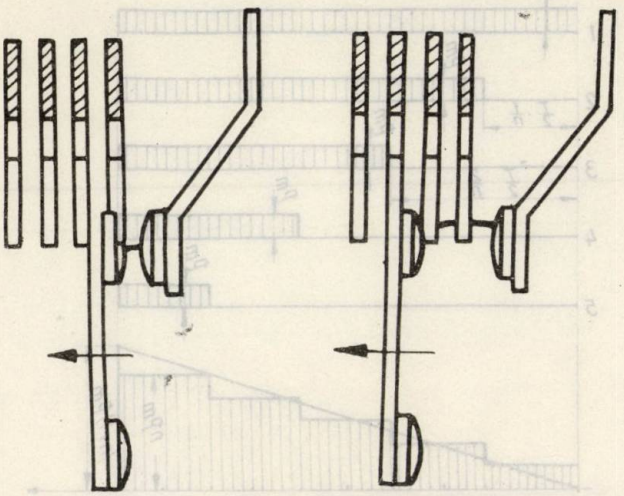


Fig. 4 a Fig. 4 b

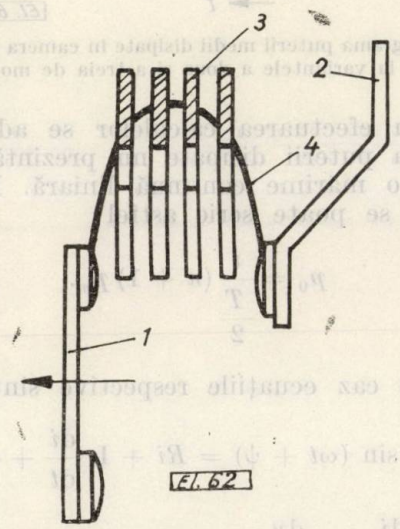


Fig. 4 c

Fig. 4. Fazele deplasării arcului electric în camera de stingere, cu referire la variantele a doua și a treia de model de arc.

piciorul arcului electric, se admite că piciorul arcului rămîne imobil 1 ms, după care își schimbă locul pe o suprafață rece. De asemenea, diametrul coloanei arcului se consideră constant.

Se poate astfel calcula energia extrasă a unui interval de arc (cu două picioare):

$$q = \frac{4}{\sqrt{\pi}} A\,\theta^* \sqrt{\lambda c_1 t_1} \quad , \qquad (10)$$

și puterea medie extrasă pe durata t_1,

$$p_m = \frac{q}{t_1} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} A\,\theta^* \frac{\sqrt{\lambda c_1}}{\sqrt{t_1}} .$$

Pentru o cameră de stingere cu 2n intervale (întreruperea dublă) diagrama puterii medii se prezintă ca în diagrama din figura 5.

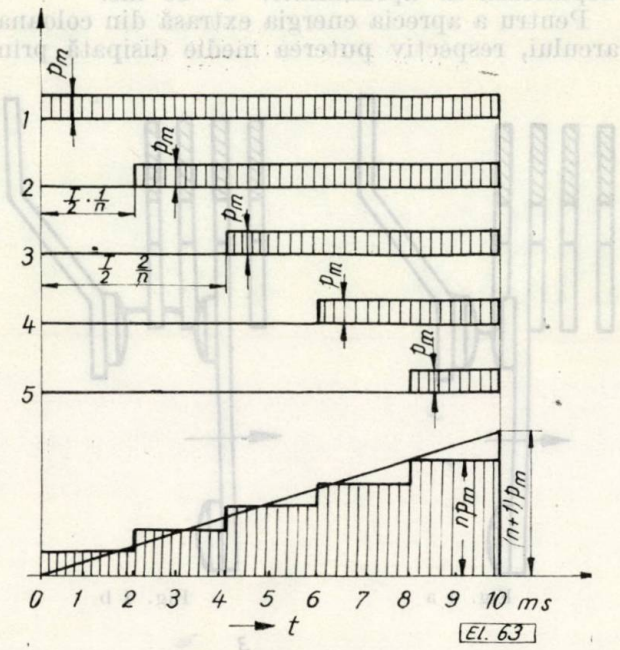


Fig. 5. Diagrama puterii medii disipate în camera de stingere cu referire la variantele a doua și a treia de model de arc.

Pentru efectuarea calculelor se admite că diagrama puterii disipate nu prezintă salturi ci este o mărime continuă liniară. Expresia acesteia se poate scrie astfel:

$$p_0 = \frac{t}{\frac{T}{2}} (n+1)\, p_m . \qquad (11)$$

În acest caz ecuațiile respective sînt:

$$\hat{U} \sin(\omega t + \psi) = Ri + \mathrm{L}\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + u \quad , \qquad (12)$$

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} u - \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} i = u^2 K\,(ui - p_0) = u^2 k\,(ui - at), \qquad (13)$$

unde:

$$a = \frac{n+1}{\frac{T}{2}} p_m = \frac{n+1}{\frac{T}{2}} 4A\,\theta^* \sqrt{\frac{\lambda c_1}{\pi t_1}} \quad . \qquad (14)$$

Pentru a scrie adimensional relațiile (12) și (13) se notează:

$$i_r = \frac{i}{\hat{I}}, u_r = \frac{u}{\hat{U}}, t_r = \frac{t}{T}$$

și se ajunge la ecuațiile:

$$\sin(2\pi t_r + \psi) = \Delta U_R\, i_r + \frac{\Delta U_L}{2\pi} \cdot \frac{\mathrm{d}i_r}{\mathrm{d}t_r} + u_r \qquad (15)$$

$$\frac{\Delta U_L}{2\pi} \cdot u_r \frac{\mathrm{d}i_r}{\mathrm{d}t} - \frac{\Delta U_L}{2\pi} i_r \frac{\mathrm{d}u_r}{\mathrm{d}t_r} = u_r^2 (m u_r i_r - n t_r) \qquad (16)$$

unde s-a notat:

$$\Delta U_R = \frac{R\hat{I}}{\hat{U}} \; ; \; \frac{\Delta U_L}{2\pi} = \frac{\omega L \hat{I}}{\hat{U} 2\pi} \; ;$$

$$m = \hat{U}\hat{I}KL \; ; \; n = aLK\frac{2\pi}{\omega} .$$

Calculele efective se pretează foarte bine a fi făcute cu ajutorul calculatorului numeric.

2.3. Modelul matematic cu considerarea reacției rețelei și corecției în funcție de intensitatea curentului

În modelul prezentat în paragraful 2.2, una din premizele de calcul a fost aceea că diametrul coloanei arcului s-a considerat constant, pe durata de ardere a arcului.

În următoarea variantă se consideră necesar a se avea în vedere o corecție în funcție de curent, în sensul de a se considera că diametrul coloanei arcului variază în același sens cu intensitatea curentului și anume după o dependență liniară.

În acest caz ecuația (16) trebuie corectată, iar modelul matematic este redat prin următoarele ecuații diferențiale:

$$\sin(2\pi t_r + \psi) = \Delta U_R\, i_r + \frac{\Delta U_L}{2\pi} \cdot \frac{\mathrm{d}i_r}{\mathrm{d}t_r} + u_r \qquad (17)$$

$$\frac{\Delta U_L}{2\pi} u_r \frac{\mathrm{d}i_r}{\mathrm{d}t} - \frac{\Delta U_L}{2\pi} i_r \frac{\mathrm{d}u_r}{\mathrm{d}t_r} = u_r^2\,(m u_r i_r - n i_r t_r). \qquad (18)$$

Se observă că expresia ni_rt_r, din termenul din dreapta al relației (18), se obține prin

înmulțirea cu i_r a expresiei corespunzătoare nt_r din relația (16). În acest mod energia disipată de arcul electric devine proporțională cu curentul relativ i_r, care este o mărime adimensională cu valori cuprinse între zero și unu.

3. Verificări experimentale și prin calcul

Ecuațiile diferențiale ale celor 3 modele, care descriu arcul electric au fost soluționate cu ajutorul calculatorului numeric, iar rezultatele astfel obținute s-au comparat cu datele experimentale obținute la încercarea unui contactor.

În primul rînd, pentru a se verifica ipoteza presupusă, anume că, aproximativ, întreaga căldură dezvoltată de segmentele de arc se transmite prin conducție plăcuțelor de stingere, s-a făcut o verificare prin calcul a transmisivității căldurii și anume pentru un contactor de tipul AC_3, 40 A, din producția indigenă, care a fost folosit și pentru încercările experimentale din laborator. Rezultatele acestor încercări au fost publicate mai detaliat în altă lucrare, [10].

La acest tip de contactor există 4 plăcuțe de stingere, pe loc de rupere, din material feromagnetic, grosimea unei plăcuțe fiind aproximativ 1,8 mm. Aplicînd relația (4), cu parametrii k și z calculați pentru cazul real amintit și cu temperatura de referință θ^*, considerată 1500°C, adică temperatura de topire a materialului feromagnetic, s-au obținut curbele din figura 6, unde funcția $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2_{dy}}$ a fost calculată cu ajutorul tabelelor Janke — Emde — Lösch [11], pentru valori ale argumentului z, cuprinse între 0 și 3.

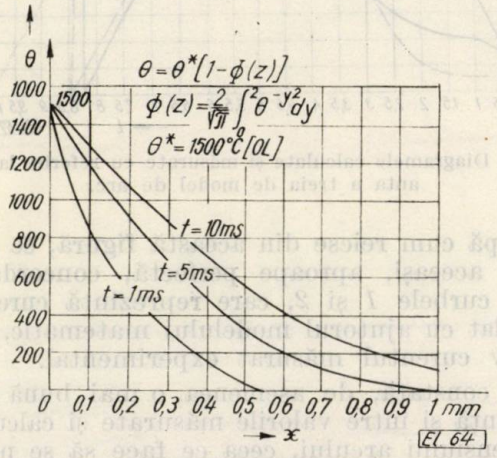


Fig. 6. Diagramele transmisiei căldurii prin conducție în plăcuțele de stingere în funcție de timp și spațiu.

După cum rezultă din diagramele obținute se constată, că după 1 ms de ardere a arcului electric întreaga temperatură cade pe adîncimea de 0,5 mm, iar după 10 ms temperatura cade pe o adîncime de 1,3 mm, în ipoteza că grosimea peretelui este foarte mare și că se transmite căldură după o singură direcție.

Faptul că arcul electric intră progresiv în camera de stingere (numărul picioarelor de arc electric crește în timp) și faptul că picioarele de arc electric sînt în deplasare pe suprafețele plăcuțelor, îndreptățește ipoteza de a considera că piciorul de arc găsește în permanență o suprafață metalică rece.

În adevăr oscilogramele arată că arcul electric se stinge într-o semiperioadă, iar prin ipoteza prezentată și în figura 5, timpul de staționare a piciorului arcului s-a considerat de numai 1 ms. În aceste condiții s-a acceptat transmisia căldurii numai după o singură direcție, avînd în vedere că factorul de corecție global, care ține seamă și de transmisia după direcția radială, a fost determinat experimental. În adevăr, valoarea lui K din relațiile (8), (9), (10), (20), (21), (22) s-a determinat experimental. Ceea ce s-a reținut din ecuația transmiterii căldurii a fost dependența energiei transmise, proporțională cu $\sqrt{t}$.

În continuare s-a trecut la verificarea prin calcul și pe cale experimentală a modelelor prezentate, pentru cazul real amintit, al contactorului de tip AC_3, 40 A. Încercările experimentale s-au făcut pentru un curent $\hat{I} = 118$ A $U = 480$ V, $\cos \varphi \simeq 0{,}3$, $L = 0{,}0122$ H, $R = 1{,}07\ \Omega$, $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R} = 3{,}58$, $\varphi = 74{,}3°$, $\psi = \varphi = 1{,}29$ radiani.

Pentru modelul matematic de arc prezentat în paragraful 2.1, fără reacție, calculele au fost făcute pe un calculator cifric de tipul IBM—1130. Constanta K, din ecuația (9), s-a determinat pe cale experimentală, din încercările efectuate pe contactorul de încercat. Pentru aceasta s-a luat o valoare medie $K = 10$.

Rezultatele obținute s-au trecut în figura 7, unde u_a reprezintă tensiunea de arc care re-

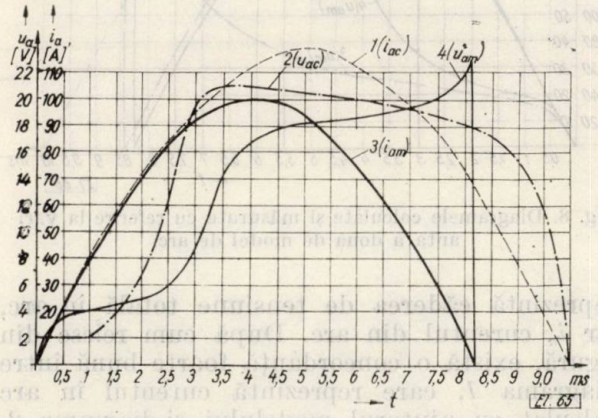


Fig. 7. Diagramele calculate și măsurate cu referire la varianta întîia de model de arc.

vine unui interval, iar i_a, curentul din arc. Cu *1*, s-a notat, diagrama curentului la frecvenţa reţelei de 50 Hz, cu *2*, diagrama tensiunii arcului obţinută prin calcul cu ajutorul modelului matematic, cu *3*, diagrama curentului din arc măsurat (deci real), iar cu *4*, diagrama tensiunii de arc măsurată (deci reală), cu, *5*, s-a notat diagrama curentului dat de sursă, la 50 Hz.

După cum reiese din aceste diagrame, se constată că există diferenţe apreciabile între diagramele obţinute cu ajutorul modelului, prin calcul şi cele măsurate efectiv.

Curentul real măsurat, prezintă o diminuare a fazei şi amplitudinii din cauza interacţiunii dintre arc şi reţea, ceea ce ne-a făcut să trecem la o nouă variantă, în care să se ţină seama şi de reacţia reţelei, variantă prezentată în paragraful 2.2.

Cu valori reale de calcul, ecuaţiile (15) şi (16), au luat forma:

$$\sin(2\pi t_r + 1{,}29) = 0{,}268\, i_r + 0{,}153 \frac{di_r}{dt_r} + u_r \cdot \quad (19)$$

$$0{,}153\, u_r \frac{di_r}{dt_r} - 0{,}153\, i_r \frac{du_r}{dt_r} = u^2 (6740\, u_r i_r - 4{,}84 \cdot 10^3\, t_r). \quad (20)$$

Calculele au fost făcute cu ajutorul calculatorului numeric, de tipul ICL—1902, iar rezultatele se pot vedea în figura 8, unde u_a,

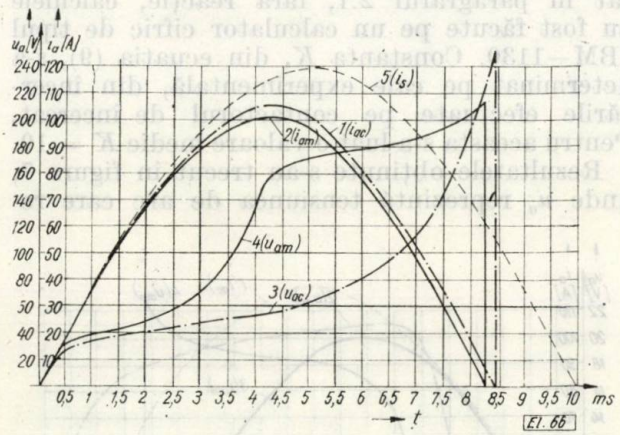


Fig. 8. Diagramele calculate şi măsurate cu referire la varianta a doua de model de arc.

reprezintă căderea de tensiune totală în arc, iar i_a curentul din arc. După cum reiese din figură, există o concordanţă foarte bună între diagrama *1*, care reprezintă curentul în arc calculat cu ajutorul modelului şi diagrama *2*, care reprezintă curentul real măsurat.

Există însă o concordanţă mai puţin bună între diagramele *3* şi *4*, care reprezintă tensiunea în arc calculată, respectiv măsurată. Din cauza acestei neconcordanţe s-a corectat modelul prezentat în paragraful 2.2. şi în funcţie de intensitatea curentului, aşa cum s-a precizat în paragraful 2.3, iar ecuaţiile (19) şi (20) au căpătat forma:

$$\sin(2\pi t_r + 1{,}29) = 0{,}268\, i_r + 0{,}152 \frac{di_r}{dt_r} + u_r \cdot \quad (21)$$

$$0{,}153\, u_r \frac{di_r}{dt_r} - 0{,}152\, i_r \frac{du_r}{dt_r} = u_r^2 (6740\, u_r i_r - 4{,}84\, 10^3\, i_r t_r). \quad (22)$$

Calculele au fost făcute tot cu ajutorul calculatorului cifric ICL—1902, iar rezultatele măsurate şi calculate au fost trecute în figura 9.

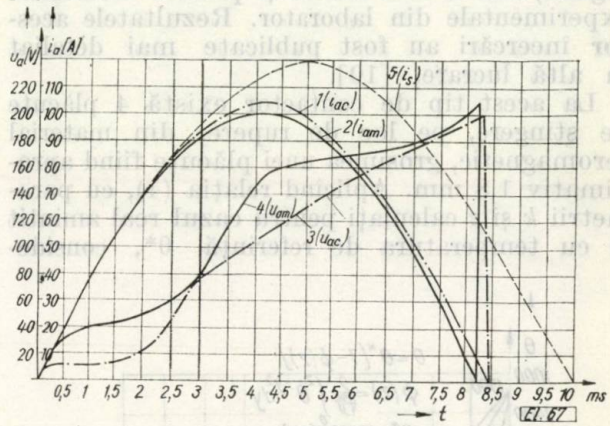


Fig. 9. Diagramele calculate şi măsurate cu referire la varianta a treia de model de arc.

După cum reiese din această figură, se constată aceeaşi, aproape perfectă, concordanţă între curbele *1* şi *2*, care reprezintă curentul calculat cu ajutorul modelului matematic, respectiv curentul măsurat experimental.

Se constată, de asemenea, o mai bună concordanţă şi între valorile măsurate şi calculate ale tensiunii arcului, ceea ce face să se poată spune că ultima variantă redă, cu cea mai bună aproximaţie, procesele care au loc pe durata de ardere a arcului electric.

4. Concluzii

Ecuaţiile care descriu comportarea arcului electric, capătă semnificaţie şi utilitate în momentul în care se poate aprecia printr-o expresie matematică căldura cedată de arcul electric în camera de stingere. Ipotezele pre-

zentate în lucrare sînt îmbunătățite în trei trepte și ca urmare rezultatele obținute concordă cu atît mai bine cu cît ipoteza este mai mult îmbunătățită. S-a ajuns astfel a se descrie cu suficient de bună aproximație arcul electric într-un contactor de joasă tensiune de curent alternativ contactor care întrerupe un curent de 118 A_{max}. Modelul poate servi ca instrument de calcul, pentru precalcularea camerelor de stingere, prezentate, cu plăcuțe metalice de stingere.

Bibliografie

[1] *Mayr, O.* Beitrag zur Theorie des statischen und dynamischen Lichtbogen. În : Arch. Elektrotechn. **37**, 1943, p. 588—608.

[2] *Cassie, A.M.* și *Mason, F.D.* Postarc Conductivity in Gas-Blast Circuit-Breakers. În : Rap. 103, CIGRE, 1956.

[3] *Rieder, W.* și *Urbanek, J.* New Aspects of Current Zero. Research on Circuit-Breaker Peignition. A Theory of Thermal Non-Equilibrium Arc Conditions. În : Rap. 107, CIGRE, 1966.

[4] *Swanson, B.W., Roidl, R.M.* și *Browne, T.E.* jr. Ein thermisches Bogenmodell fur Abstandskurzschluss- Abschaltung (in Englisch) În : ETZ-A, vol. **93**, nr. 7, 1972, p. 375—380.

[5] *Krause, K.* Modell fur den statischen und dynamischen Lichtbogen. În : ETZ-A vol. **93** nr. 7, 1972, p. 421—423.

[6] *Halder, A.K.*, și *Sanderson, J.V.H.* An Mathematical Model Of an a.c. Arc. in Contactors. Bul. University of Salford, Salford M5. 4WT, Lancs.

[7] *Bron, O.B.* Electricescaia duga v apparatah upravlenia. Gosenergoizdat. Moscova-Leningrad, 1954.

[8] *Zaleski, A.M.* Electricescaia duga otklonenia. Gosenergoizdat, Moscova-Leningrad, 1963.

[9] *Hortopan, G.* Aparate electrice. Editura didactică și pedagogică, București, 1967.

[10] *Trușcă, V.* Influența acoperirii metalice a plăcuțelor camerelor de stingere asupra procesului de deconectare. În : Electrotehnica **20**, nr. 8, aug 1972, p. 298—305.

[11] *Jahnke* — Emde — Lősch. Tafeln höheren Functionen. B.G. Teubner verlagsgesellschaft. Stuttgart, 1966.

Intrat în redacție la 16.XI.1972

Stabilirea condițiilor de trecere de la stingerea la reaprinderea unui arc electric descris de ecuația lui Mayr

MIMI SASU* — București

CZ 621.3.014.31.001.25 : 621.316.5.064.4

1. Enunțarea problemei

Sînt cîteva decenii de cînd se încearcă să se găsească o descriere matematică a arcului electric de întrerupere, care să permită determinarea prin calcul a comportării arcului electric în interacțiune cu circuitul în care este cuplat întreruptorul. Deoarece la tensiuni înalte, arcul electric constituie pînă în prezent singura modalitate de realizare a unei deconectări sincrone, respectiv la trecerea curentului prin zero, problema formulării unei teorii dinamice a arcului prezintă importanță în special pentru întreruptoare de curent alternativ de mare putere.

Dintre teoriile de arc bazate pe procesele fizice care se petrec în coloana arcului electric, cea mai cunoscută și mai utilizată este teoria lui Mayr [1]. Încercînd să stabilească o teorie mai generală a arcului electric de întrerupere, Hochrainer [2] renunță la analiza detaliată a fenomenului fizic, considerînd arcul ca un dipol electric cu o anumită conductanță. Ipotezele pe care le formulează asupra arcului de întrerupere îi permit să stabilească o nouă ecuație a arcului electric din care se poate deduce, ca un caz particular, ecuația lui Mayr.

Conform teoriei generalizate a arcului electric a lui Hochrainer, pentru descrierea comportării arcului electric este suficientă cunoașterea caracteristicii tensiune-curent a arcului și a constantei sale de timp. Spre deosebire de celelalte teorii de arc, nu se impun însă restricții în ceea ce privește alura caracteristicii statice și constanta de timp termică a arcului poate fi variabilă [3]. Noul model matematic al arcului stabilit de Hochrainer și-a găsit aplicabilitate în cercetările efectuate de Grütz și Hochrainer [3], [4] asupra întreruptoarelor de putere.

Încercînd să descrie într-un mod cît mai sugestiv ceea ce se întîmplă în arcul electric, într-o altă lucrare [5] Hochrainer abordează un punct de vedere interesant, considerînd arcul electric echivalent cu un sistem de reglare cu reacție avînd ca mărime impusă puterea introdusă în arc. Acest mod de tratare a arcului electric este explicabil întrucît baza existenței arcului o constituie bilanțul dintre energia care se produce în arc și cea care se evacuează, fiecare perturbare a acestui echilibru trebuind să fie compensată printr-un proces de reglare în interiorul arcului. Pornind de la această reprezentare a arcului, Hochrainer demonstrează matematic ecuația diferențială a arcului pe care a stabilit-o inițial [2] numai pe baza unor ipoteze fundamentale.

* Ing. *Mimi Sasu* este cercetător științific principal în Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.) — București.

În general, indiferent de forma particulară sub care apare ecuaţia arcului electric de întrerupere, ea are un caracter neliniar ce ţine de faptul că arcul însuşi este un element neliniar. Aceasta face ca soluţionarea ecuaţiei arcului electric să fie posibilă numai cu ajutorul calculatoarelor electronice. Astfel, utilizînd un calculator analogic s-au putut rezolva, de exemplu, ecuaţiile care descriu arcul electric ce apare la deconectarea cu aparate limitatoare a circuitelor electrice de curent alternativ [6] şi de curent continuu [7].

Într-o altă lucrare [8] se prezintă o metodică de rezolvare pe calculator analogic a ecuaţiilor corespunzătoare unui arc electric, care se stabileşte într-un circuit electric de curent alternativ întrerupt cu ajutorul unui întreruptor de înaltă tensiune. Se studiază astfel condiţiile de reaprindere şi separat, condiţiile de stingere ale unui arc electric de întrerupere descris de ecuaţia diferenţială neliniară a lui Mayr.

În lucrarea de faţă se prezintă rezultatele cercetării efectuate de autor, cu ajutorul unui calculator analogic, în vederea stabilirii condiţiilor în care se poate produce trecerea de la regimul de stingere a arcului, la regimul de reaprindere — caracteristic unei deconectări nereuşite a circuitului.

2. Ecuaţiile diferenţiale ale arcului şi ale circuitului întrerupt

În schema echivalentă de întrerupere, reprezentată în figura 1, s-a presupus că circuitul se închide printr-un arc electric avînd o conductanţă $G\ (t)$, deci s-a considerat arcul electric de întrerupere ca un element al circuitului întrerupt. În acest caz, pentru tratarea matematică a acestui circuit se pot utiliza următoarele ecuaţii:

— ecuaţia diferenţială neliniară a arcului (ecuaţia lui Mayr)

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \ln G = \frac{1}{\vartheta}\left(\frac{ui}{P_0} - 1\right), \tag{1}$$

în care u şi i sînt valorile instantanee ale tensiunii şi curentului de arc, $G = i/u$ este conductanţa arcului iar ϑ şi P_0 sînt constante caracteristice ale arcului electric;

— ecuaţiile diferenţiale ale circuitului:

$$L\frac{\mathrm{d}i_s}{\mathrm{d}t} + u = \hat{U}\ , \tag{2}$$

$$C\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} + Gu = i_s, \tag{3}$$

unde i_s este curentul total prin circuit, iar $\hat{U}$ reprezintă valoarea de vîrf a tensiunii alternative a sursei, u_s. Deoarece s-a studiat comportarea dinamică a arcului electric după trecerea prin zero a curentului întrerupt, s-a considerat pentru tensiunea u_s a sursei valoarea sa maximă, pe care o atinge în momentul zeroului curentului.

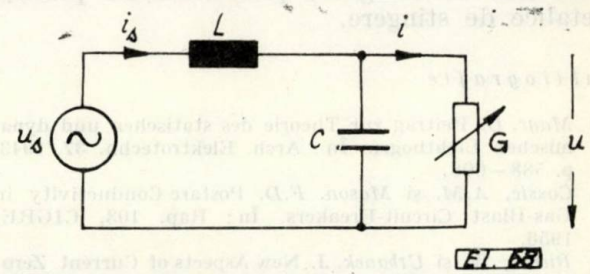


Fig. 1. — Circuitul echivalent de întrerupere a unui circuit electric de curent alternativ.

Dacă ecuaţiilor de mai sus li se asociază unele relaţii de legătură, care să permită obţinerea unor informaţii suplimentare despre comportarea arcului electric de întrerupere [8], se obţine în cele din urmă sistemul de ecuaţii:

$$\begin{cases} \dfrac{d \ln G\,(t)}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{1}{\vartheta} + \dfrac{1}{P_0}\,p\,(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}\,G\,(t)}{\mathrm{d}t} = G\,(t)\,\dfrac{\mathrm{d} \ln G\,(t)}{\mathrm{d}t} \\ \dfrac{\mathrm{d}i_s\,(t)}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\hat{U}}{L} - \dfrac{1}{L}\,u\,(t) \\ \dfrac{\mathrm{d}u\,(t)}{\mathrm{d}t} = \dfrac{1}{C}\,i_s\,(t) - \dfrac{1}{C}\,i\,(t) \\ i\,(t) = G\,(t)\,u\,(t) \\ p\,(t) = u\,(t)\,i\,(t). \end{cases} \tag{4}$$

Condiţiile iniţiale ale sistemului de ecuaţii (4) s-au presupus a fi:

$$G\,(t_0+) = G_0;\quad u\,(t_0+) = 0;\quad i\,(t_0+) = 0 \tag{5},$$

unde, s-a notat cu t_0 — momentul ultimei treceri prin zero a curentului întrerupt, în ipoteza că arcul a existat mai multe semiperioade, iar cu G_0 — valoarea conductanţei intervalului disruptiv la trecerea curentului prin zero.

Soluţiile obţinute prin rezolvarea sistemului (4) pe un calculator analogic sînt de forma $G\,(t)$, $u\,(t)$, $i\,(t)$ şi $p\,(t)$, alura lor schimbîndu-se pe măsură ce se trece de la condiţiile de stingere la condiţiile de reaprindere a arcului.

3. Programarea pe calculatorul analogic

Programarea pe calculatorul analogic implică determinarea parametrilor funcționali ai schemei de calcul care se poate întocmi pornind de la sistemul de ecuații (4), în vederea stabilirii unei corespondențe biunivoce între mărimile și parametrii modelului matematic analizat și cei ai modelului electronic. Prin parametrii funcționali ai schemei de calcul se înțeleg acei parametri care determină funcționarea modelului electronic și anume [9]: coeficientul scării de timp; coeficientul scării de amplitudine.

După cum se știe, variabila independentă a unui calculator este timpul, pe cînd modelul matematic poate avea mai multe variabile independente. În particular, modelul matematic analizat are o singură variabilă și aceasta este de asemenea timpul.

Dacă se notează cu t — timpul real, din modelul matematic și τ — timpul pe calculator, atunci coeficientul scării de timp, notat cu α, stabilește corelația:

$$\tau = \alpha t. \tag{6}$$

Schimbarea scării de timp apare ca o necesitate datorită faptului că atît amplificatoarele operaționale ale calculatorului analogic, cît și dispozitivul de înregistrare a soluțiilor furnizate de calculator prezintă caracteristici de frecvență de tipul filtrelor trece-jos, fiind caracterizate de frecvențe de tăiere relativ joase. Din această cauză, pentru a modela corect procesele rapide descrise de modelul matematic (4), este necesară o încetinire a procesului pe calculator, ceea ce se realizează pe baza relației (6). Prin schimbarea scării de timp cu ajutorul unui coeficient de scară supraunitar se poate obține o „dilatare" a timpului.

Modelarea pe calculatorul analogic a procesului descris de modelul matematic analizat impune, de asemenea, stabilirea unei corespondențe între variabilele modelului matematic și tensiunile electrice de la intrările și ieșirile amplificatoarelor operaționale ale calculatorului.

Dacă se notează cu $x\,(t)$ una din variabilele modelului matematic și $u\,(t)$ — tensiunea electrică de la intrarea sau ieșirea unui amplificator operațional, atunci corelația dintre aceste mărimi se va putea scrie sub forma

$$u\,(t) = K\,x\,(t), \tag{7}$$

unde K reprezintă coeficientul scării de amplitudine.

Schimbarea scării de amplitudine este necesară și pentru a asigura încadrarea domeniului maxim de variație a variabilelor modelului matematic în domeniul maxim de liniaritate a blocurilor operaționale ale calculatorului, aceasta constituind una din condițiile necesare obținerii unei precizii ridicate în operația de modelare.

În acele probleme, în care se cunosc valorile maxime pe care le pot atinge variabilele modelului matematic, pentru stabilirea corespondenței dintre mărimile-reale și mărimile-calculator este indicată metoda care utilizează variabile normate. În cazul de față se folosesc mărimile normate [8]:

$$\tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}\ ;\ \bar{G} = G\sqrt{L/C}\ ;\ \bar{u} = \frac{u}{\hat{U}}\ ;$$

$$\bar{i}_s = \frac{i_s}{\dfrac{\hat{U}}{\sqrt{L/C}}}\ ;\ \bar{i} = \frac{i}{\dfrac{\hat{U}}{\sqrt{L/C}}}\ ;\ \bar{p} = \frac{p}{\dfrac{\hat{U}^2}{\sqrt{L/C}}}\ ; \tag{8}$$

ceea ce permite scrierea sistemului de ecuații (4) în mărimi adimensionale. Se obține astfel sistemul:

$$\begin{cases} \dfrac{d \ln \bar{G}\,(\tau)}{d\tau} = -a + b\,\bar{p}\,(\tau) \\ \dfrac{d\bar{G}\,(\tau)}{d\tau} = \bar{G}\,(\tau)\dfrac{d \ln \bar{G}\,(\tau)}{d\tau} \\ \dfrac{d\bar{i}_s\,(\tau)}{d\tau} = 1 - \bar{u}\,(\tau) \\ \dfrac{d\bar{u}\,(\tau)}{d\tau} = \bar{i}_s\,(\tau) - \bar{i}\,(\tau) \\ \bar{i}\,(\tau) = \bar{G}\,(\tau)\,\bar{u}\,(\tau) \\ \bar{p}\,(\tau) = \bar{u}\,(\tau)\,\bar{i}\,(\tau), \end{cases} \tag{9}$$

în care constantele a și b sînt definite de relațiile:

$$a = \frac{\sqrt{LC}}{\vartheta}\ ;\quad b = \frac{\hat{U}^2 C}{\vartheta\, p_0}. \tag{10}$$

Dacă se rescriu și condițiile inițiale (5) în mărimi normate, rezultă

$$\bar{G}\,(\tau_0 +) = \bar{G}_0\ ;\ \bar{i}_s\,(\tau_0 +) = 0\ ;\ \bar{u}(\tau_0 +) = 0. \tag{11}$$

În urma operației de normare s-a obținut deci o simplificare a modelului matematic destinat rezolvării pe calculator. În timp ce sistemul de ecuații (4) depindea de cinci para-

metri, respectiv de parametrii ϑ și P_0 ai arcului și de parametrii $\hat{U}$, L și C ai circuitului, sistemul de ecuații (9), scris în mărimi adimensionale depinde numai de doi parametri, a și b determinați la rîndul lor de constantele arcului și de elementele circuitului întrerupt.

Pornind de la modelul matematic (9), s-a realizat o schemă de modelare, reprezentată schematic în figura 2, care să permită înregistrarea soluțiilor $\overline{G}$ (τ), $\overline{u}$ (τ), $\overline{i}$ (τ) și $\overline{p}$ (τ).

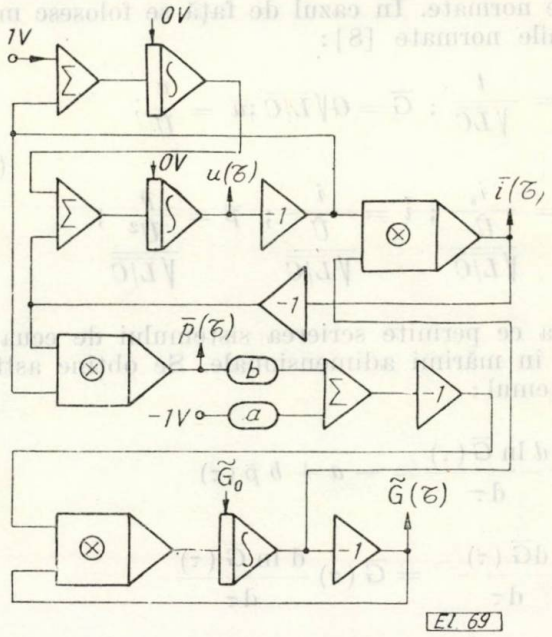


Fig. 2. — Schema de modelare a unui arc electric descris prin ecuația lui Mayr.

4. Condițiile de lucru și rezultatele de calcul.

În lucrarea [8], analiza regimului de reaprindere a arcului electric și respectiv, a regimului de stingere s-a efectuat în anumite condiții. După cum se stabilise pe cale experimentală, pentru a obține condiții sigure de reaprindere era indicat ca între parametrii a și b să existe relația:

$$b > a; \qquad (12)$$

în timp ce pentru a obține stingerea definitivă a arcului era necesar să fie satisfăcută inegalitatea

$$b < a. \qquad (13)$$

Utilizînd metodica de lucru stabilită ca fiind optimă pentru studiul condițiilor de stingere a unui arc electric, pe calculator analogic [8], s-a încercat să se obțină o trecere „continuă" de la regimul de stingere la regimul de reaprindere a arcului. S-a stabilit astfel, pe cale experimentală, că condiția (13) este necesară dar nu suficientă: în toate cazurile de stingere analizate condiția (13) era satisfăcută, dar nu în toate cazurile în care condiția (13) era îndeplinită, se obținea stingerea arcului. În anumite situații, pentru anumite perechi de valori ale parametrilor a și b pornind de la regimul de stingere a arcului s-a putut obține trecerea la regimul de reaprindere, chiar în situația $b \leqslant a$. Aceasta a condus la concluzia că condiția (12) nu este restrictivă.

Pentru a putea vedea cît mai bine influența parametrilor a și b asupra fenomenelor care au loc la trecerea prin zero a curentului întrerupt, s-au studiat condițiile de trecere de la stingerea la reaprinderea arcului în două cazuri, totalizînd 42 de variante.

4.1. Influența parametrului „a" asupra deconectării circuitului.

În tabelul 1 sînt prezentate datele de calcul pentru cîteva grupe de variante, în care b se menține constant, iar a ia diferite valori. Dintre soluțiile obținute în urma rezolvării sistemului de ecuații (9), în figurile 3—6 se prezintă, sub formă de familii de caracteristici, înregistrările corespunzătoare variantelor $b = 1$ și $a = 2 \div 0{,}5$.

Analizînd aceste caracteristici se remarcă, în primul rînd, cele două cazuri limită. Astfel, pentru $a = 2$ (deci $a > b$) alura curbelor $\overline{G}(\tau)$, $\overline{u}$ (τ), $\overline{i}$ (τ) și $\overline{p}$ (τ) indică o stingere sigură

Tabela 1

Trecerea de la stingere la reaprindere: b=constant; a=parametru

b	0,5						1				
a	1,5	1,25	1	0,75	0,5	0,25	2	1,5	1,25	1	0,5
b	1,5						2				
a	2,5	2	1,5	1	0,5	—	3	2	1,5	0,5	1

și rapidă a arcului; pentru $a = 0{,}5$ (deci $a < b$), alura curbelor menționate atestă faptul că are loc o reaprindere sigură a arcului electric [8].

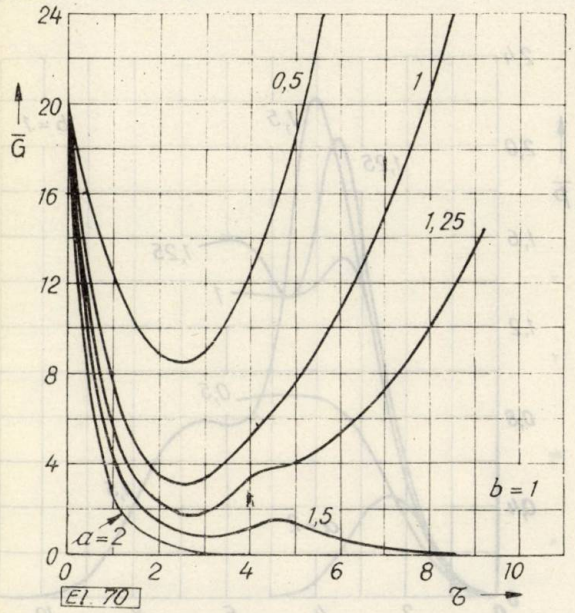


Fig. 3. — Variația cu timpul a conductanței arcului electric în cazul trecerii de la stingerea la reaprinderea arcului (b = constant; a = parametru).

Între aceste extreme se situează celelalte trei variante prezentate. Așa, de pildă, înregistrările obținute în cazul $a = 1{,}5$ arată o deconectare întîrziată a circuitului. Conductanța arcului (figura 3) descrește de la valoarea inițială, tinzînd către zero; la un moment dat însă, apare o ușoară tendință de creștere, dar după atingerea unui mic maxim, conductanța scade definitiv la zero. La fel, curba corespunzătoare curentului post-arc (figura 5) manifestă o tendință de creștere către curentul total prin circuit, dar sfîrșește prin a tinde, în cele din urmă, către zero. De altfel, din caracteristicile $\overline{p}$ (τ) din figura 6, se vede că în cazul discutat ($a = 1{,}5$), puterea dezvoltată în arc este foarte mare în comparație cu cea din cazul precedent ($a = 2$) cînd stingerea arcului se producea mult mai repede.

În varianta $a = 1{,}25$ lucrurile se petrec în mod diferit. După cum se vede în figura 3, conductanța arcului scade normal, atinge un minim, după care începe să crească. Nu după mult timp însă, curba prezintă un nou punct de inflexiune, ca și în varianta $a = 1{,}5$, numai că, de rîndul acesta, în final, nu mai tinde către zero ci crește la valori mari. Aceasta arată că rezultatul bilanțului de energie între puterea dezvoltată în arc și puterea disipată este pozitiv și ca urmare, arcul se reaprinde.

Faptul este confirmat și de alura de variație în timp a tensiunii de arc din figura 4. În cazurile precedente ($a = 2$ și $a = 1{,}5$) în care erau condiții de stingere a arcului, pentru a nu încărca figura s-au reprezentat curbele $\overline{u}$ (τ) numai pînă în dreptul valorii maxime a primei amplitudini a tensiunii de restabilire, care

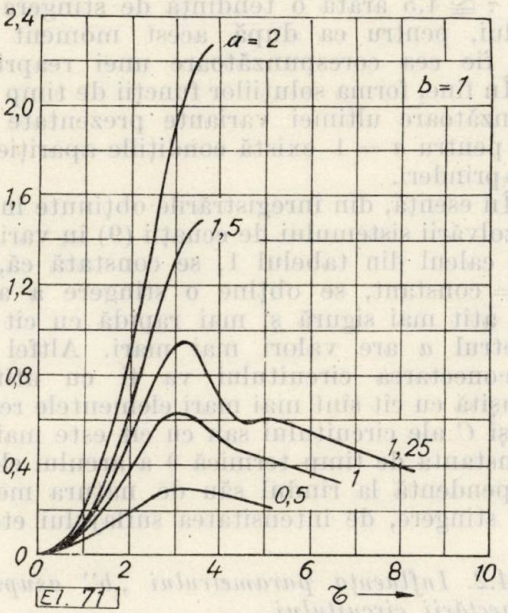


Fig. 4. — Variația în timp a tensiunii de arc în cazul trecerii de la stingerea la reaprinderea arcului (b = constant; a = parametru).

oscilează apoi în jurul valorii de vîrf a tensiunii aplicate circuitului. În cazul în speță ($a = 1{,}25$) s-a redat variația tensiunii de arc pe o durată

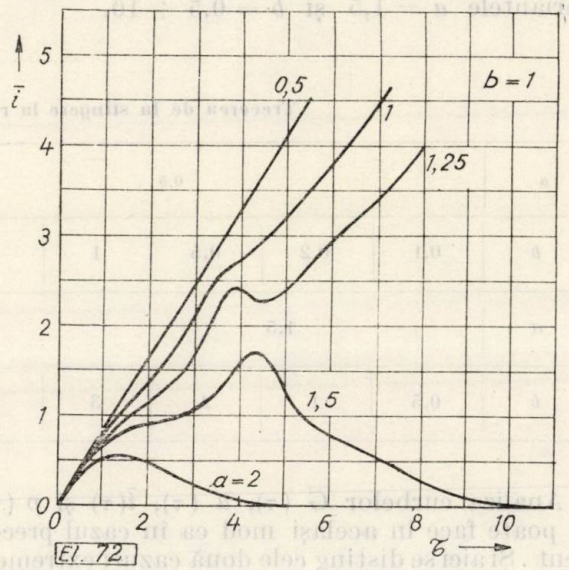


Fig. 5. — Variația cu timpul a curentului de arc în cazul trecerii de la stingerea la reaprinderea arcului (b = constant; a = parametru).

de timp mai mare, pentru a se pune în evidență vîrful de reaprindere a arcului.

După cum se poate urmări în figura 5, curba curentului de arc corespunzătoare variantei $a = 1{,}25$ are o alură de variație ca-

re poate fi considerată tipică pentru fenomenul de tranziție de la stingerea la reaprinderea unui arc electric. Același lucru se poate spune și despre curba puterii dezvoltate în arc, din figura 6, a cărei alură de variație în timp pînă la $\tau \cong 4{,}5$ arată o tendință de stingere a arcului, pentru ca după acest moment alura să fie cea corespunzătoare unei reaprinderi.

În fine, forma soluțiilor funcții de timp corespunzătoare ultimei variante prezentate arată că pentru $a = 1$ există condițiile apariției unei reaprinderi.

În esență, din înregistrările obținute în urma rezolvării sistemului de ecuații (9) în variantele de calcul din tabelul 1, se constată că, dacă b = constant, se obține o stingere a arcului cu atît mai sigură și mai rapidă cu cît parametrul a are valori mai mari. Altfel spus, deconectarea circuitului va fi cu atît mai reușită cu cît sînt mai mari elementele reactive L și C ale circuitului sau cu cît este mai mică constanta de timp termică ϑ a arcului electric, dependentă la rîndul său de natura mediului de stingere, de intensitatea suflajului etc.

4.2. Influența parametrului „b" asupra deconectării circuitului

Datele de calcul din tabelul 2 sînt ordonate pe grupe de variante în care, de rîndul acesta, a este constant iar b ia diferite valori. Pentru exemplificare, în figurile 7—10 se prezintă patru diagrame, conținînd soluțiile obținute prin rezolvarea sistemului de ecuații (9), în variantele $a = 1{,}5$ și $b = 0{,}5 \div 10$.

trează într-un mod interesant fenomenul de tranziție de la stingerea la reaprinderea unui arc electric.

Trebuie remarcat că spre deosebire de cazul anterior, în care vitezele inițiale de variație

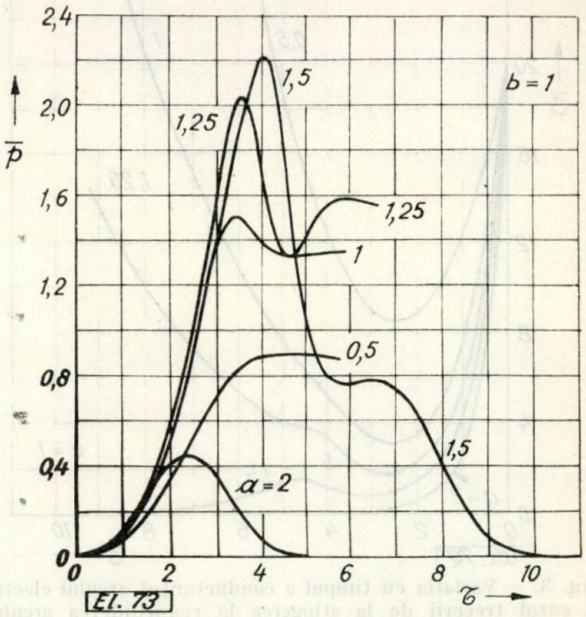


Fig. 6. — Variația în timp a puterii dezvoltate în arc în cazul trecerii de la stingerea la reaprinderea arcului (b = [illegible] = constant; a = parametru).

în timp ale conductanței, tensiunii, curentului și puterii arcului variau în funcție de parametrul a, în cazul de față, cînd a este constant,

Tabela 2

Trecerea de la stingere la reaprindere: a=constant; b=parametru

a	0,5						1				
b	0,1	0,2	0,5	1	2	—	0,2	0,5	0,75	1	2
a	1,5						2				
b	0,5	1	2	3	5	10	1	2	5	10	20

Analiza curbelor $\overline{G}(\tau)$, $\overline{u}(\tau)$, $\overline{i}(\tau)$ și $\overline{p}(\tau)$ se poate face în același mod ca în cazul precedent. Și aici se disting cele două cazuri extreme: o stingere fermă și rapidă care se obține pentru $b = 0{,}5$ (deci $b < a$) și o reaprindere la fel de fermă care apare la $b = 10$ (deci $b > a$).

Mai pot fi menționate caracteristicile corespunzătoare variantei $b = 1$ care arată o stingere retardată a arcului electric, precum și soluțiile obținute în varianta $b = 2$, care ilustrează și aceste mărimi sînt constante. De asemenea, se poate vedea că valoarea maximă, la care ajunge tensiunea de restabilire, variază proporțional cu parametrul a (figura 4) și invers proporțional cu parametrul b (figura 8). Altfel spus, arcul se va reaprinde cu atît mai ușor cu cît elementele L și C sînt mai mici și cu cît tensiunea aplicată circuitului este mai mare.

În general, din soluțiile obținute în urma rezolvării sistemului de ecuații (9) în varian-

tele de calcul din tabelul 2 se constată că pentru a obține o stingere rapidă a arcului electric de întrerupere, în condițiile în care a = constant, este necesar ca b să aibă valori mici. Aceasta confirmă faptul că o deconectare reușită a unui circuit electric de curent alternativ se obține cu atît mai ușor cu cît tensiunea sursei este mai mică, sau cu cît puterea disipată de arc mediului înconjurător este mai mare.

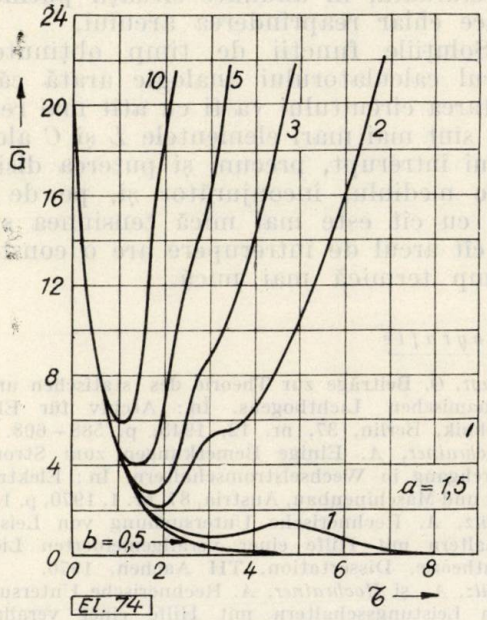


Fig. 7. — Variația în timp a conductanței unui arc electric în cazul trecerii de la stingere la reaprindere (a = constant; b = parametru).

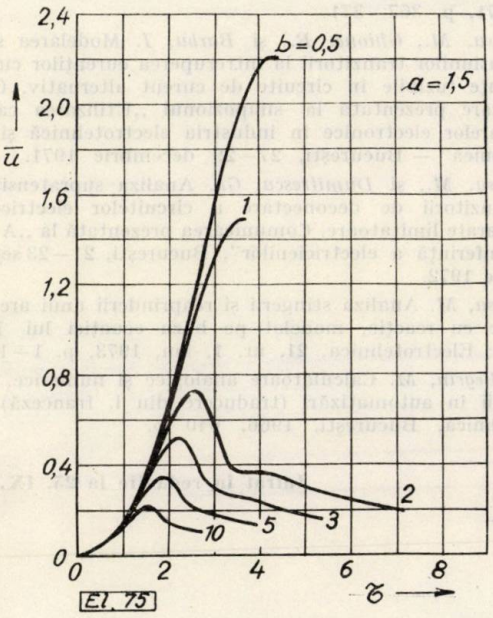


Fig. 8. — Variația cu timpul a tensiunii de arc în cazul trecerii de la stingere la reaprindere (a = constant; b = parametru).

5. Cîteva observații în legătură cu aparatura utilizată

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații (9) s-a folosit un calculator analogic tip MEDA 81 T. Conform metodicii de lucru stabilite [8], pentru efectuarea celor trei produse care apar în sistemul (9), în locul multiplicatoarelor electronice proprii calculatorului s-a preferat să se utilizeze un servomultiplicator, care asigură precizia de calcul dorită. Servomultiplicatorul tip SENAS 2/10, folosit, are o viteză

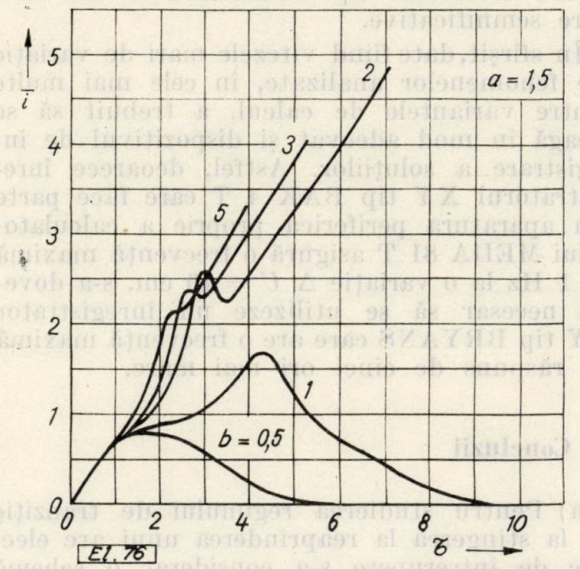


Fig. 9. — Variația în timp a curentului de arc în cazul trecerii de la stingere la reaprindere (a = constant; b = = parametru).

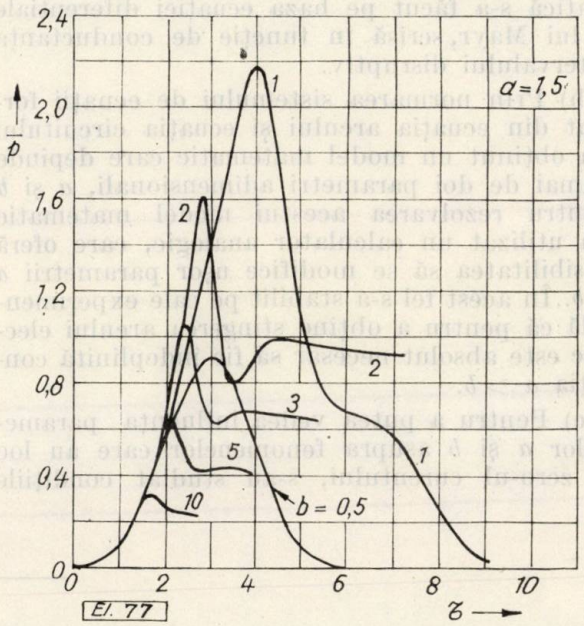


Fig. 10. — Variația cu timpul a puterii dezvoltate în arc în cazul trecerii de la stingere la reaprindere (a = constant; b = parametru).

maximă de modificare a tensiunii de intrare de 2 V/s.

De asemenea, pentru mărirea preciziei de prescriere a coeficienţilor, nu s-a utilizat voltmetrul electronic propriu calculatorului, care are numai patru cifre semnificative, ci un voltmetru electronic tip SOLARTRON cu cinci cifre semnificative.

În sfîrşit, date fiind vitezele mari de variaţie ale fenomenelor analizate, în cele mai multe dintre variantele de calcul, a trebuit să se aleagă în mod adecvat şi dispozitivul de înregistrare a soluţiilor. Astfel, deoarece înregistratorul XY tip BAK 4 T care face parte din aparatura periferică proprie a calculatorului MEDA 81 T asigură o frecvenţă maximă de 1 Hz la o variaţie $\Delta U = 10$ cm, s-a dovedit necesar să se utilizeze un înregistrator XY tip BRYANS care are o frecvenţă maximă de răspuns de cinci ori mai mare.

6. Concluzii

a) Pentru studierea regimului de tranziţie de la stingerea la reaprinderea unui arc electric de întrerupere s-a considerat o schemă simplă de deconectare a unui curent alternativ. Considerînd arcul electric ca un element al circuitului întrerupt, descrierea lui matematică s-a făcut pe baza ecuaţiei diferenţiale a lui Mayr, scrisă în funcţie de conductanţa intervalului disruptiv.

b) Prin normarea sistemului de ecuaţii format din ecuaţia arcului şi ecuaţia circuitului s-a obţinut un model matematic care depinde numai de doi parametri adimensionali, a şi b Pentru rezolvarea acestui model matematic s-a utilizat un calculator analogic, care oferă posibilitatea să se modifice uşor parametrii a şi b. În acest fel s-a stabilit pe cale experimentală că pentru a obţine stingerea arcului electric este absolut necesar să fie îndeplinită condiţia $a > b$.

c) Pentru a putea vedea influenţa parametrilor a şi b asupra fenomenelor care au loc la zero-ul curentului, s-au studiat condiţiile de trecere de la stingerea la reaprinderea arcului în două cazuri : cînd b este constant şi a ia diferite valori şi respectiv situaţia cînd a este constant şi b variază. În acest mod s-a stabilit că, cu cît condiţia $a > b$ este îndeplinită mai aproape de limită, cu atît stingerea arcului este mai retardată, în anumite situaţii putîndu-se produce chiar reaprinderea arcului.

d) Soluţiile funcţii de timp obţinute cu ajutorul calculatorului analogic arată că deconectarea circuitului va fi cu atît mai reuşită cu cît sînt mai mari elementele L şi C ale circuitului întrerupt, precum şi puterea disipată de arc mediului înconjurător şi, pe de altă parte, cu cît este mai mică tensiunea sursei şi cu cît arcul de întrerupere are o constantă de timp termică mai mică.

Bibliografie

[1] *Mayr, O.* Beiträge zur Theorie des statischen und des dynamischen Lichtbogens. În : Archiv für Elektrotechnik, Berlin, 37, nr. 12, 1943, p. 588—608.

[2] *Hochrainer, A.* Einige Bemerkungen zum Stromnulldurchgang in Wechselstromschaltern. În : Elektrotechnik und Maschinenbau, Austria, 87, nr. 1, 1970, p. 15—19.

[3] *Grütz, A.* Rechnerische Untersuchung von Leistungsschaltern mit Hilfe einer verallgemeinerten Lichtbogentheorie. Dissertation, TH Aachen, 1970.

[4] *Grütz, A.*, şi *Hochrainer, A.* Rechnerische Untersuchung von Leistungsschaltern mit Hilfe einer verallgemeinerten Lichtbogentheorie. În : ETZ-A, R.F.G, 92, nr. 4, apr. 1971, p. 169—191.

[5] *Hochrainer, A.* Eine Regelungstechnische Betrachtung des elektrischen Lichtbogens ,,Kibernetische Theorie des Lichtbogens''. În : ETZ-A, R.F.G, 92, nr. 6, iunie 1971, p. 367—371.

[6] *Sasu, M., Ghione, R.*, şi *Barbu, I.* Modelarea supratensiunilor tranzitorii la întreruperea curenţilor cu siguranţe fuzibile în circuite de curent alternativ. Comunicare prezentată la simpozionul ,,Utilizarea calculatoarelor electronice în industria electrotehnică şi electronică'' — Bucureşti, 27—29 decembrie 1971.

[7] *Sasu, M.*, şi *Dumitrescu, Gh.* Analiza supratensiunilor tranzitorii de deconectare a circuitelor electrice, cu aparate limitatoare. Comunicarea prezentată la ,,A III-a Conferinţă a electricienilor'', Bucureşti, 21—23 septembrie 1972.

[8] *Sasu, M.* Analiza stingerii şi reaprinderii unui arc electric cu reacţie, modelat pe baza ecuaţiei lui Mayr. În : Electrotehnica, 21, nr. 1, ian, 1973, p. 1—10.

[9] *Pellegrin, M.* Calculatoare analogice şi numerice. Aplicaţii în automatizări (traducere din l. franceză). Ed. Tehnică, Bucureşti, 1966, 640 p.

Intrat în redacţie la 25. IX. 1972

Domeniile regimurilor de viteză ale motorului asincron de macara cu turaţie continuu variabilă

TITUS BURCEA* — Bucureşti

CZ 621.313.333.1 – 566.076.2

1. Consideraţii generale

Robusteţea, simplitatea constructivă şi siguranţa în funcţionare a motorului asincron trifazat i-a determinat pe specialişti să caute metode comode de reglare a vitezei acestui tip de motor, lucru ce constituia, în general mai înainte, apanajul aproape exclusiv al motorului de curent continuu.

Pentru motoarele asincrone trifazate de macara, în tehnica modernă s-au dezvoltat în mod deosebit acele metode prin care se obţin turaţii diferite la acelaşi cuplu, care lăsînd neschimbată turaţia de sincronism, acţionează asupra parametrilor R (rezistenţa rotorică) şi U (tensiunea statorică), modificînd în acest mod alura caracteristicii mecanice.

În lucrarea de faţă se vor studia domeniile regimurilor de funcţionare a unui astfel de motor, destinat acţionării mecanismului de ridicare-coborîre de la macara, motor care asigură reglarea turaţiei în limite foarte largi prin modificarea continuă a parametrilor R şi U ai caracteristicilor mecanice. Termenul de regim va fi folosit aici în două sensuri şi anume :

— din punct de vedere al comportării în timp vom avea regimul staţionar, la care turaţia n este constantă $\left(\frac{dn}{dt} = 0\right)$ şi regimul tranzitoriu, la care turaţia este variabilă $\left(\frac{dn}{dt} \neq 0\right)$;

— din punct de vedere al sensului de transformare a diferitelor forme de energie vom avea următoarele regimuri de funcţionare cunoscute din teoria clasică a maşinilor şi acţionărilor electrice : regimul de motor ; regimul de frînă ; regimul de generator.

Pentru o mai bună înţelegere a problemelor ce fac obiectul propriu-zis al prezentului studiu, se va începe prin a se reaminti cititorului din teoria clasică a acţionărilor electrice [8], [9], [10], schema echivalentă a motorului asincron şi cîteva din relaţiile fundamentale.

În figura 1 este arătată schema echivalentă a motorului asincron în forma cea mai simplificată. Semnul ′ (prim) arată că este vorba de mărimi raportate la primar, celelalte notaţii fiind : $X = X_1 + X'_2$ — reactanţa de scurt circuit a motorului ;

R_0 — rezistenţa unei înfăşurări de fază a rotorului ;

R'_{ai} — rezistenţa adiţională pe o fază a rotorului ;

R_i — $R'_{ti} = R'_0 + R'_{ai}$ — rezistenţa rotorică totală pe o fază (raportată) ;

R_1 — rezistenţa statorică (s-a neglijat) $R_1 = 0$;

U — tensiunea de fază la alimentarea statorică ;

U_N — valoarea nominală a acestei tensiuni ;

S — alunecarea definită ca $S = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$;

— unde n_0 şi ω_0 sînt turaţia şi respectiv viteza unghiulară de sincronism, iar n şi ω reprezintă o turaţie şi o viteză unghiulară oarecare ;

$I = I_1 = I'_2$ — curentul statoric, egal cu curentul rotoric raportat.

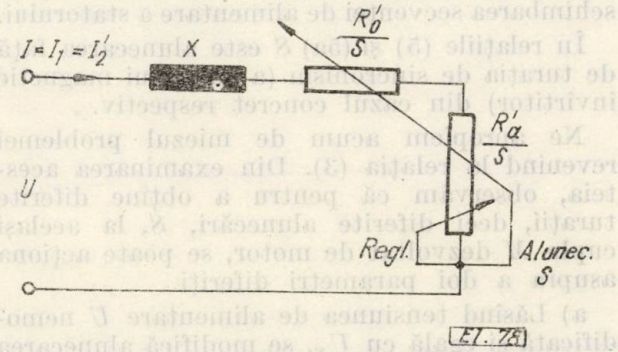


Fig. 1

Puterea P_1 absorbită de stator din reţea egală, în cazul schemei echivalente simplificate, cu puterea electromagnetică transmisă rotorului P_e, va avea următoarea expresie :

$$P_1 = 3\,UI \cdot \cos\varphi = P_e = \omega_0 M = \frac{3U_N^2 M}{2X M_{kN}}, \quad (1)$$

în care :

M este cuplul dezvoltat de motor ;

M_k — valoarea maximă (de răsturnare) a cuplului la o tensiune oarecare de alimentare statorică ;

M_{kN} — valoare cuplului de răsturnare în cazul alimentării cu tensiune nominală.

* Ing. *T. Burcea* este cercetător ştiinţific principal la I.P.A.

Valorile cuplurilor de răsturnare sînt date de următoarele relaţii :

$$M_k = \frac{3\,U^2}{2\omega_0 \cdot X} \quad (2) \text{ şi respectiv } M_{kN} = \frac{3\,U_N^2}{2\omega_0\,X}. \quad (2\,a)$$

Valoarea cuplului motor M şi a alunecării de răsturnare S_{ki} sînt date de următoarele relaţii :

$$M = \frac{2\,M_{kN}}{\frac{S_k}{S} + \frac{S}{S_k}} \cdot \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 \cdot \quad (3) \quad S_{ki} = \frac{R_i}{X}. \quad (4)$$

Puterea mecanică P_m cedată la arbore şi puterea de alunecare P_2 disipată sub formă de căldură în înfăşurările rotorice au următoarele expresii :

$$P_m = P_e \cdot (1 - S). \quad (5)$$

$$P_2 = P_e \cdot S = \frac{3\,U_N^2}{2X\,M_{kN}} \cdot M \cdot S \cdot \quad (5a)$$

Trebuie subliniat faptul că viteza unghiulară (şi deci şi turaţia) de sincronism nu se schimbă atîta timp cît frecvenţa tensiunii de alimentare rămîne constantă. Sensul lui ω_0, care de fapt este un vector, se schimbă odată cu schimbarea secvenţei de alimentare a statorului.

În relaţiile (5) şi (5a) S este alunecarea faţă de turaţia de sincronism (a cîmpului magnetic învîrtitor) din cazul concret respectiv.

Ne apropiem acum de miezul problemei revenind la relaţia (3). Din examinarea acesteia, observăm că pentru a obţine diferite turaţii, deci diferite alunecări, S, la acelaşi cuplu M dezvoltat de motor, se poate acţiona asupra a doi parametri diferiţi.

a) Lăsînd tensiunea de alimentare U nemodificată şi egală cu U_N, se modifică alunecarea critică S_k prin variaţia rezistenţei rotorice $R_t = R_0 + R_a$. Dacă pînă acum variaţia rezistenţei rotorice nu se putea face, în general, decît în trepte, la ora actuală, datorită dezvoltării tehnicii tiristoarelor, acest lucru se poate face comod în mod continuu [4], [5], [6].

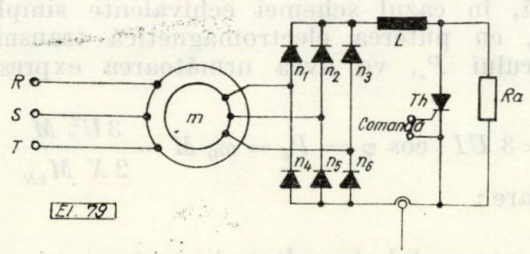


Fig. 2

Astfel, folosind o schemă ca cea din figura 2, în care rezistenţa R_a este scurtcircuitată periodic cu o frecvenţă de circa 1 kHz prin tiristorul comandat Th, se obţine în planul $n = f(M)$

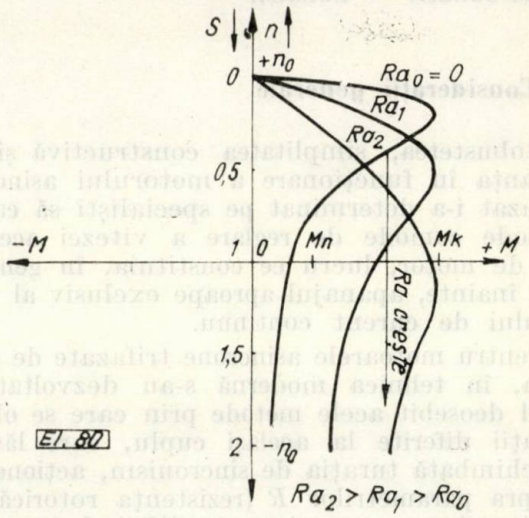


Fig. 3

o familie de curbe ca cea arătată în figura 3, în care parametrul R_t (rezistenţa rotorică totală) şi odată cu el şi parametrul S_k poate fi continuu variat de la valoarea $R_t = R_0$ la valoarea $R_t = R_0 + R_{ae}$ (R_a echivalent total), ceea ce duce la o variaţie a alunecării de la valoarea S_{kN} la valoarea S_{kM}, unde S_{kN} este alunecarea critică pe caracteristica naturală iar S_{kM} — alunecarea critică maximă obţinută prin blocarea totală a tiristorului Th (lipsa completă de scurtcircuitare a rezistenţei R_a).

Se remarcă, deci, că în această familie de caracteristici mecanice, cuplul de răsturnare este constant, fiind egal cu M_{kN} (valoarea lui este dată de relaţia (2a)), iar alunecarea critică S_k variază crescînd odată cu rezistenţa R, conform relaţiei (4).

b) O altă cale de a obţine turaţii diferite la acelaşi cuplu constă în aceea că, lăsînd o anumită rezistenţă R constantă, în rotor, se poate acţiona asupra tensiunii de alimentare U, conform schemei din figura 4. Tensiunea de alimentare a statorului se modifică variind unghiul de aprindere α_a a tiristoarelor; originea unghiurilor ($\alpha_a = 0$) este cotată ca fiind punctul în care tensiunea de fază aplicată tiristorului, respectiv tensiunea anod-neutru, trece prin zero [2], [3], [4]. În felul acesta se obţine la motor o tensiune tăiată, deformată, dar valoarea medie pe o semiperioadă a acestei tensiuni şi armonica fundamentală depind de unghiul de aprindere α_a, variind de la 0 la U_N cînd α_a variază de la 210° la 0°. În acest mod se obţine în planul M—n o familie de caracteristici mecanice, ca cele arătate în figura 5, avînd ca parametru tensiunea statorică (armonica fundamentală). Pentru această familie

de caracteristici, rezistența rotorică este constantă. Deci, ceea ce caracterizează familia respectivă, este constanța alunecării critice S_k conform relației (4) și variația cuplului de

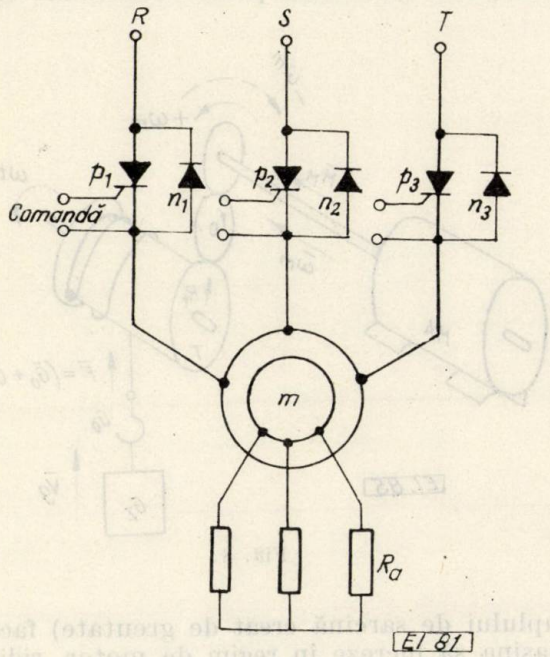
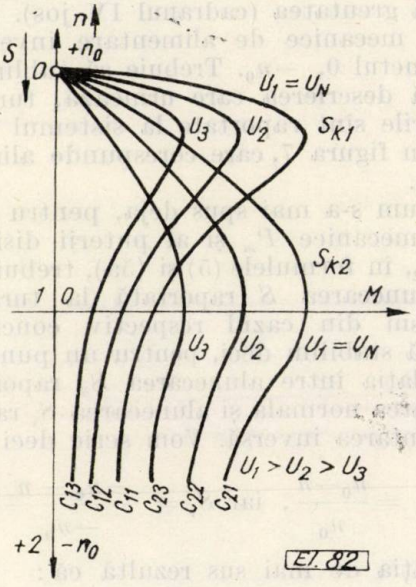


Fig. 4

răsturnare M_k proporțional cu pătratul tensiunii conform relației (2) și independent de alunecarea critică S_k. De obicei, la acest sistem de reglare a turației se folosesc două sau



Fip. 5

trei trepte de rezistențe rotorice, obținîndu-se două sau trei familii de caracteristici, așa cum se arată în figura 5 : curba notată cu C_{ij} este aceea cu alunecare critică S_{ki} și tensiunea statorică U_j.

c) Uneori se folosesc dispozitive combinate de variație a turației, constînd dintr-o schemă de variație continuă a tensiunii statorice, cum este la punctul *b* și o schemă de variație continuă a rezistenței rotorice, cum este la punctul *a*.

Folosind deci, metoda variației continue a tensiunii statorice în intervalul $0 < U < U_N$ și a rezistenței rotorice în intervalul $0 < R < \infty$ precum și o schimbare a secvenței de alimentare și deci de sens a lui n_0, se poate ajunge la situația că un motor asincron cu inele colectoare să poată funcționa în regim tranzitoriu în orice punct al diagramei $M-n$, respectiv $M-S$, care face parte din domeniul D_{tp} (domeniul regimului tranzitoriu posibil), delimitat așa cum arată figura 6, în modul următor.

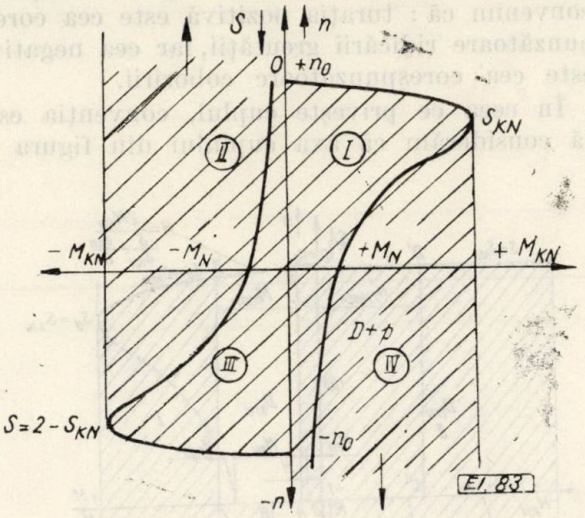


Fig. 6

Pentru $M > 0$:

— frontiera în direcția $-S$ este caracteristica naturală de alimentare normală dată de relația (3), în care $U = U_N$ iar $S_k = S_{kN}$ reprezintă alunecarea critică pe caracteristica naturală, deci:

$$M = \frac{2\,M_{kN}}{\frac{S_{kN}}{S} + \frac{S}{S_{kN}}};$$

— frontiera în direcția $+M$, dreapta $M = +M_{kN}$;

— frontiera în direcția $+S \to \infty$ (nedefinită).

Pentru $M < 0$:

— frontiera în direcția $+S$, este caracteristica naturală de alimentare inversă, dată de relația :

$$M = \frac{2\,M_{kN}}{\frac{S-2}{S_{kN}} + \frac{S_{kN}}{S-2}}; \qquad (6)$$

— frontiera în direcția — M, dreapta $M = M_{kN}$;

— frontiera în direcția — S, $\rightarrow -\infty$ (nedefinită).

2. Particularități ale domeniului regimului tranzitoriu realizabil D_{tr} din planul M-n pentru motoarele asincrone trifazate destinate acționării mecanismelor de ridicare-coborîre.

2.1. Pentru o descriere unitară, valabilă în orice regim de funcționare și în orice cadran, în cele ce urmează se va adopta o convenție de semne. Această convenție este natural-arbitrară, dar odată adoptată respectarea ei este obligatorie în tot cursul expunerii. Așadar convenim că: turația pozitivă este cea corespunzătoare ridicării greutății, iar cea negativă este cea corespunzătoare coborîrii.

În ceea ce privește cuplul, convenția este să considerăm că axa cuplului din figura 7,

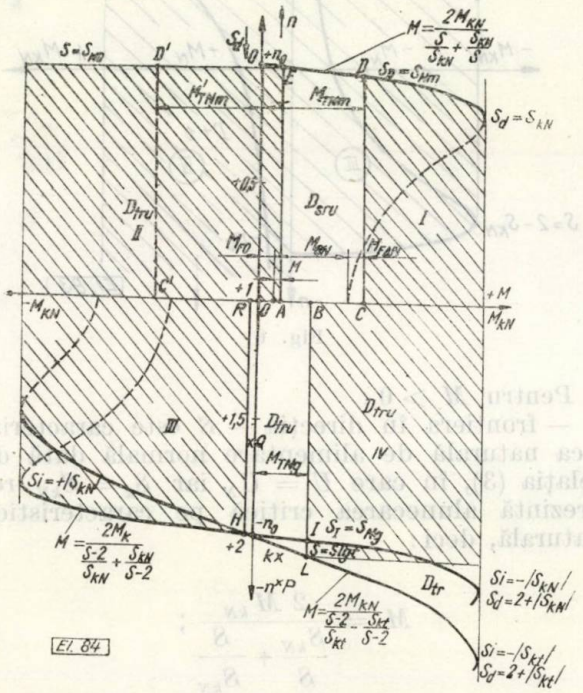


Fig. 7

coincide chiar cu arborele motorului (figura 8). În acest caz cuplul creat de greutate la arborele motorului este considerat negativ (acest cuplu ar produce, în lipsa cuplului motor și cu frîna ridicată, o mișcare a motorului și a tobei în direcția coborîrii greutății). Deci, el ar trebui reprezentat în diagrama M-n în partea stîngă (pe semiaxa — M).

Cuplul dezvoltat de motor la arborele său atunci cînd ridică greutatea este considerat pozitiv; el figurează în partea dreaptă a diagramei M-n (pe semiaxa $+M$).

Alimentarea statorică normală este aceea care (fiind dat odată pentru totdeauna sensul

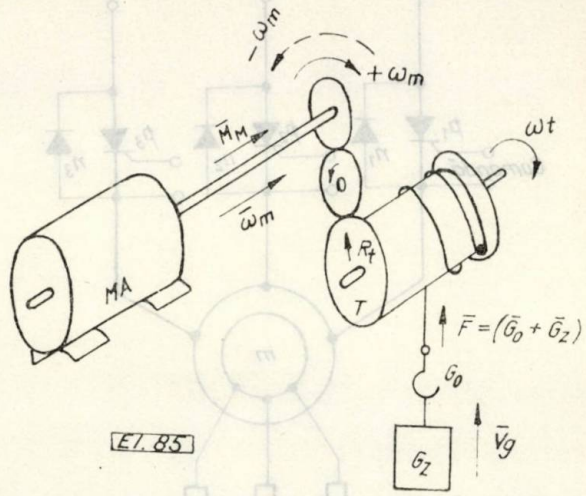


Fig. 8

cuplului de sarcină creat de greutate) face ca mașina să lucreze în regim de motor, ridicînd greutatea (în cadranul I). Caracteristicile mecanice de alimentare normală trec prin punctul 0, $+n_0$.

Alimentarea statorică inversă este cea care (în aceleași condiții ale cuplului de sarcină creat de greutate) face să lucreze mașina în regim de generator, coborînd cu turația supra-sincronă greutatea (cadranul IV jos). Caracteristicile mecanice de alimentare inversă trec prin punctul 0, $-n_0$. Trebuie să subliniem că, în toată descrierea care urmează, turațiile și alunecările sînt raportate la sistemul de referință din figura 7, care corespunde alimentării normale.

Așa cum s-a mai spus deja, pentru calculul puterii mecanice P_m și al puterii disipate în rotor P_2, în formulele (5) și (5a), trebuie introdusă alunecarea S raportată la turația de sincronism din cazul respectiv concret. Va trebui să stabilim deci, pentru un punct oarecare, relația între alunecarea S_d raportată la alimentarea normală și alunecarea S_i raportată la alimentarea inversă. Vom scrie deci:

$$S_d = \frac{n_0 - n}{n_0}, \text{ iar } S_i = \frac{-n_0 - n}{-n_0}.$$

Din relația de mai sus rezultă că:

$$S_i = 2 - S_d \text{ și } S_d = 2 - S_i; \qquad (7)$$

unde S_i trebuie considerat cu semnul său algebric

2.2. Presupunem acum că dispunem de o instalație de acționare cu motor asincron tri-

fazat, înzestrată cu dispozitive de variație continuă a tensiunii statorice U între limitele $0 < U < U_N$ și de variație continuă a rezistenței rotorice adiționale între limitele $0 < R_a < \infty$ așa cum s-a precizat la punctul 1 *C*.

Față de domeniul regimului tranzitoriu posibil D_{tp} (cel arătat în figura 6), pentru motorul asincron (înzestrat cu dispozitivele de variație menționate), domeniul fizic realizabil al regimurilor tranzitorii la acționările de ridicare-coborîre D_{tr} mai are o frontieră suplimentară care îl limitează în direcția $-S$.

În adevăr pentru $M < 0$ limita în direcția $-S$ este dreapta $S = S_{N0}$, unde S_{N0} reprezintă alunecarea pe caracteristica naturală de alimentare normală la ridicarea cîrligului gol în regim staționar de viteză (alunecarea punctului *E* din figura 7). Această limită (din cadranul II, sus) este determinată de natura fizică a fenomenului; cuplul dat de greutate fiind unidirecțional, la un mecanism de ridicare-coborîre nu s-ar putea obține o alunecare negativă și nici chiar o alunecare $S_d < S_{N0}$ (în valori algebrice), decît dacă forța greutății și odată cu ea cuplul creat de aceasta la arborele motorului și-ar schimba sensul, lucru ce trebuie privit numai ca o ficțiune matematică și nu ca o realitate fizică.

Pentru $M > 0$, în cadranul *IV*, domeniul fizic realizabil al regimurilor tranzitorii D_{tr} s-ar întinde în direcția $+S$ spre infinit. Intervine însă o limitare în această direcție, introdusă de considerente de ordin practic. Într-adevăr în cadranul *IV* de la curba care reprezintă caracteristica naturală de alimentare inversă dată de relația (6), în jos, adică în direcția creșterii alunecării *S*, se suprapun două regimuri energetice posibile de funcționare a motorului asincron (figura 9):

— regimul de frînă ce se obține la funcționarea mașinii pe una din curbele familiei de caracteristici mecanice care trec prin punctul 0, $+n_0$ (mașina are alimentare statorică normală);

— regimul de generator suprasincron ce se obține la funcționarea mașinii pe una din curbele familiei de caracteristici mecanice care trec prin punctul 0 $-n_0$ (mașina are alimentare statorică inversă).

Așadar, orice punct de sub caracteristica naturală de alimentare inversă, de exemplu punctul *K* din figura 7, poate fi atins, fie pe o caracteristică de alimentare normală, fie pe o caracteristică de alimentare inversă.

Totuși, este important de notat următoarele: o viteză de coborîre mult mai mare în modul, decît cea corespunzătoare alunecării $S_{N\vartheta}$ (punctul *I* figura 7) nu este de dorit din considerente mecanice, tehnologice și de securitate, în special atunci cînd se coboară greutăți mari, apropiate de cea nominală (pentru a putea frîna rapid în caz de pericol). Așadar, deși greutățile mici ar putea fi eventual coborîte și cu viteze sensibil mai mari în modul decît n_0, pentru coborîrea greutăților mari se folosesc ca viteze limită, vitezele obținute la funcționarea în regim de generator suprasincron, pe o caracteristică mecanică de alimentare inversă ușor înclinată, numită caracteristica tampon, pe care s-ar produce o alunecare de maximum 15% la coborîrea greutății nominale.

Ecuația acestei caracteristici ar fi deci:

$$M = \frac{2 M_{kN}}{\frac{S-2}{S_{kt}} + \frac{S_{kt}}{S-2}} \qquad (8)$$

unde, S_{kt} este alunecarea critică pe caracteristica tampon.

Deși aceleași viteze, așa cum s-a mai spus, s-ar putea obține și în regim de frînă, pe caracteristicile de alimentare normală se preferă totuși regimul de generator, din cauza solicitărilor termice mult mai mici produse în circuitul rotoric.

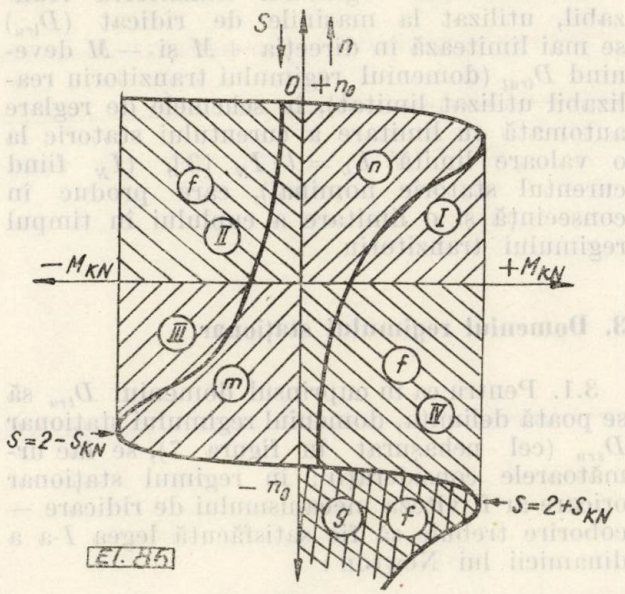


Fig. 9

Într-adevăr căldura dezvoltată în circuitul rotorului la funcționarea în punctul *I* figura 7 la mersul pe caracteristica naturală de alimentare inversă, este de $P_{2i} = M\omega_0 \cdot S_{N\vartheta i}$ (9), în timp ce la funcționarea în același punct, dar pe o caracteristică de alimentare normală căldura disipată în rotor este conformă relației (7): $P_{2d} = M\omega_0 \cdot S_{N\vartheta d} = M\omega_0 (2 - S_{N\vartheta i}) = M\omega_0 (2 + |S_{N\vartheta i}|)$ (10) ($S_{N\vartheta i}$ fiind alunecarea în punctul *I* față de turația cîmpului magnetic de alimentare inversă, iar $S_{N\vartheta d}$ alunecarea în același punct față de turația cîmpului magnetic de alimentare normală). Se vede că între P_{2i} și P_{2d} este o diferență apreciabilă.

Evident, în timp ce limita din stînga sus (cadran *II*) nu poate fi nicicum depășită

limita din dreapta jos nu este rigidă, ea putînd fi uneori trecută. Cu această frontieră în direcția $+S$ (caracteristica tampon de alimentare inversă) domeniul D_{tr} se limitează devenind D_{tru} — domeniul regimului tranzitoriu realizabil utilizat.

Așadar, ca o concluzie la cele arătate mai sus se poate afirma că:

$$\text{domeniul} \begin{cases} -M_{KN} < M < 0 \\ S < S_{N0} \end{cases} \begin{cases} \text{este fizic intangibil la acționările de} \\ \text{ridicare-coborîre,} \end{cases}$$

$$\text{iar domeniul} \begin{cases} 0 < M < +M_{KN} \\ S > S_{lgt} = 2{,}15 \end{cases} \begin{cases} \text{este practic} \\ \text{neutilizat.} \end{cases}$$

În relația de mai sus S_{lgt} este alunecarea limită produsă la coborîrea greutății nominale în regim de generator pe caracteristica tampon (în punctul L figura 7).

2.3. Domeniul regimului tranzitoriu realizabil, utilizat la mașinile de ridicat (D_{tru}) se mai limitează în direcția $+M$ și $-M$ devenind D_{trul} (domeniul regimului tranzitoriu realizabil utilizat limitat), în schemele de reglare automată cu limitare a curentului statoric la o valoare limită $L_L = l \cdot I_N$ [3], (I_N fiind curentul statoric nominal), care produc în consecință și o limitare a cuplului în timpul regimului tranzitoriu.

3. Domeniul regimului staționar

3.1. Pentru ca în cuprinsul domeniul D_{tru} să se poată delimita, domeniul regimului staționar D_{sru} (cel nehașurat în figura 7), se fac următoarele considerații: în regimul staționar oricare ar fi viteza mecanismului de ridicare — coborîre trebuie să fie satisfăcută legea I-a a dinamicii lui Newton:

$$\overline{M}' + \overline{M} = 0, \qquad (11)$$

unde, $\overline{M}'$ este cuplul creat de sarcină la arborele motorului, iar $\overline{M}$ este cuplul dezvoltat de mașină pentru a contrabalansa cuplul de sarcină. $\overline{M}'$ și $\overline{M}$ sînt doi vectori coliniari, egali și de semn contrar, îndreptați în direcția arborelui motorului și deci, conform convenției, în lungul axei M din planul M-n (figura 7). Proiectîndu-i pe axa M, cu care sînt coliniari, ecuația vectorială dată (11) se transformă într-o ecuație algebrică de proiecții:

$$M' + M = 0 \text{ sau } M' = -M. \qquad (11\,a)$$

Descompunînd cuplul de sarcină în componentele sale, așa cum se va vedea mai departe, vom obține tot atîtea componente egale și de semn contrar pentru cuplul dezvoltat de mașina M, care vor trebui să echilibreze fiecare componentă a cuplului de sarcină M'. Pentru a nu încărca prea mult figurile, se obișnuiește ca în diagramă să se reprezinte numai componentele cuplului M, subînțelegînd că fiecărei componente din cuplul dezvoltat de mașină îi corespunde o componentă egală și de sens contrar în cuplul de sarcină, care ar trebui deci, figurată în cealaltă direcție a axei M din planul M-n.

Pentru a analiza componența cuplului de sarcină se fac următoarele precizări:

— în linii mari cuplul de sarcină se compune din cuplul produs de greutatea atîrnată în cîrlig și din cuplul pierderilor mecanice, care la rîndul său are două componente: cuplul necesar acționării ventilatorului pus pe arborele motorului și cuplul de frecări în lagăre și angrenaje;

— cuplul necesar acționării ventilatorului se va neglija în cele ce urmează deoarece valoarea lui este foarte mică (circa 1% din cuplul nominal al motorului). Această neglijare este cu atît mai mult îndreptățită cu cît la motoarele mari ventilatorul este acționat de un motoraș separat.

Pentru a putea prinde fenomenele în relații matematice vom introduce următoarele notații: cuplurile se vor nota cu litera M, respectiv M' urmat de 1 pînă la 3 indici. În punerea indicilor se stabilește următoarea sistematizare:

— indicele de pe locul unu precizează proveniența cuplului (arată despre ce componentă este vorba). Acest indice poate fi: G pentru cuplul produs de greutate (sau cel dezvoltat de mașina pentru echilibrarea cuplului dat de greutate), F pentru cuplul de frecări, T pentru cuplul total al sarcinii sau al mașinii (cel al greutății plus cel de frecări);

— indicele de pe locul 2 se referă la greutatea atîrnată în cîrlig. Acest indice poate fi Z pentru o greutate oarecare în cîrlig, 0 pentru o greutate în cîrlig egală cu zero, b pentru o anumită greutate Gb atîrnată în cîrlig, N pentru greutatea nominală, Δz pentru a indica o componentă proporțională cu variația de greutate de la gol la greutatea Gz, X arată că mărimea respectivă nu depinde de greutate;

— indicele de pe locul 3 arată la ce regim de funcționare a mașinii se referă mărimea respectivă. Acesta poate fi: m pentru regimul de motor, g pentru regimul de generator, f pentru regimul de frînă, x arată că mărimea respectivă nu depinde de regimul de funcționare al mașinii. Astfel, M_{GZX} se citește: componenta cuplului dezvoltat de mașină pentru a echilibra greutatea totală $G = G_0 +$

$+ G_z$ (care depinde, deci, de greutatea G_z pusă în cîrlig), x-ul de pe locul *3* arată că acest cuplu este independent de regimul de funcţionare.

Pentru a simplifica scrierea, se vor omite indicii x în notaţie acolo unde acest lucru nu produce confuzii. Astfel, de pildă, mărimea M_{GN_x} poate fi scrisă şi prescurtat M_{GN}, deoarece indicele G de pe locul unu arată că e vorba de componenta cuplului necesară echilibrării greutăţii, componentă care nu depinde de regimul de funcţionare, ci numai de greutatea din cîrlig (nominală în cazul de faţă).

În afară de aceasta se mai introduc următoarele notaţii :

G_0 — greutatea palanului şi a cîrligului gol;
G_z — o greutate oarecare agăţată în cîrlig;
G_N — greutatea nominală utilă, agăţată în cîrlig;
G_{TZ} — greutatea totală $G_0 + G_z$;
G_{TN} — greutatea totală nominală, corespunzătoare unei greutăţi nominale utile G_N, deci, $G_{TN} = G_0 + G_N$;
ω_m — viteza unghiulară a motorului;
ω_t — viteza unghiulară a tobei pe care se înfăşoară cablul;
V_g — viteza de deplasare a greutăţii (cîrligului);
V_t — viteza periferică a tobei;
i_p — raportul de transmisie a palanului;
i_r — raportul de transmisie a reductorului (motor-tobă);
$i = i_p \cdot i_r$ — raportul total de transmisie de la motor la cîrlig;
R_t — raza tobei pe care se înfăşoară cablul;
η — randamentul total al transmisiei.

Cu aceste notaţii se observă că :

$$\omega_t = \frac{\omega_m}{i_r}; \quad V_g = \frac{V_t}{i_p} = \frac{R_t \cdot \omega_t}{i_p} = \frac{R_t \cdot \omega_m}{i}. \tag{12}$$

Cuplul total de sarcină aplicat la arborele motorului M_T se compune, aşa cum s-a mai spus, din două părţi principale :

— cuplul corespunzător greutăţii totale $G_{TZ} = G_0 + G_z$ dat de relaţia

$$M'_{GZ} = -\frac{R_t(G_0 + G_z)}{i}. \tag{13}$$

Acest cuplu depinde numai de greutatea G_z atîrnată în cîrlig şi este unidirecţional, avînd semnul minus (conform convenţiei de semn adoptată), în orice cadran şi în orice regim de funcţionare ar lucra maşina electrică;

— cuplul creat de frecările în angrenaje şi lagăre, care creşte odată cu greutatea G_z atîrnată în cîrlig : M'_F.

Acest cuplu total de frecări, care depinde, ca valoare absolută, numai de greutate, se poate exprima sub forma :

$$M'_{FZ} = M'_{FO} + M'_{F\Delta z}, \tag{14}$$

unde M'_{FO} este cuplul de frecare la mersul în gol ($G_{z=0}$) iar $M'_{F\Delta z}$ — surplusul de cuplu de frecare, faţă de cel de mers în gol, atunci cînd în cîrlig este atîrnată greutatea G_z.

În cele ce urmează cuplul de frecare M'_{FZ} va fi indicat ca valoare absolută prin simbolul respectiv cuprins între bare, iar pentru a indica semnul său, care se schimbă odată cu semnul turaţiei n, se va pune în faţa simbolului valorii absolute a cuplului factorul *Sign* (n) — semnul turaţiei. Ca ordin de mărime cuplul total de frecare M'_{FN}, la o greutate în cîrlig egală cu greutatea nominală G_N, reprezintă circa (10... 30 %) din cuplul nominal al motorului (cel dat în lista principalelor caracteristici tehnice) $M_{TNm} = M_D$ (Cuplul din punctul D figura 7), adică :

$$|M'_{FN}| = (0{,}1 \div 0{,}3)\ M_{TNm}. \tag{15}$$

O mărime foarte importantă la instalaţiile de ridicat este randamentul total al transmisiei η, care prin definiţie reprezintă raportul dintre puterea cheltuită pentru a ridica greutatea G_{Tz}, cu o viteză constantă oarecare v_g şi puterea cedată de motor la arbore :

$$P_m = M_{TZm} \cdot \omega_m. \text{ Deci : } \eta = \frac{V_g(G_0 + G_z)}{M_{Tzm} \cdot \omega_m}. \tag{16}$$

De unde, conform relaţiilor (12) rezultă :

$$M_{Tzm} = \frac{R_t(G_0 + G_z)}{i \cdot \eta} = |M'_{Gz}| \cdot \frac{1}{\eta}. \tag{17}$$

Din acest cuplu total al maşinii în regim de motor M_{TZm}, numai o parte $M_{GZ} = -M'_{Gz}$, dată de relaţia (13), este necesară echilibrării cuplului creat de greutate la arbore. Restul este cuplul dezvoltat de maşină necesar acoperirii pierderilor mecanice (de frecare) :

$$|M_{Fz}| = |M'_{Fz}| = |M_{Tzm}| - |M_{Gz}| = \frac{R_t \cdot G_{Tz}}{i}\left(\frac{1}{\eta} - 1\right), \tag{18}$$

$$|M'_{Fz}| = |M'_{Fz}| \cdot \frac{1 - \eta}{\eta} = M_{Tzm}(1 - \eta). \tag{18 a}$$

Experienţa arată că η variază cu greutatea G atîrnată în cîrlig. În bibliografia de specialitate [1], [11], se arată curbele ridicate experimental de variaţie a lui η_z cu factorul K,

$$K = \frac{G_0 + G_z}{G_0 + G_N}. \tag{19}$$

Aceste curbe au ca parametru randamentul nominal al transmisiei η_N adică acel randa-

ment corespunzător mersului mașinii în regim nominal de motor (cu turație nominală și greutate nominală în cîrlig), dezvoltînd, deci, cuplul $M_{TNm} = M_D$. Așadar, din relația (17) rezultă :

$$\eta_N = \frac{|M'_{GN}|}{|M'_{GN}| + |M'_{FN}|} = \frac{|M'_{GN}|}{|M_{TNm}|}. \quad (20)$$

Vom obține deci :

$$|M'_{Fz}| = |M_{Gz}| \cdot \frac{1-\eta_z}{\eta_z} =$$

$$= \frac{R_t}{i}(G_0 + G_z) \cdot \frac{1-\eta_z}{\eta_z}, \quad (21)$$

$$|M'_{Fz}| = \frac{R_t}{i} \cdot K \cdot (G_0 + G_N) \cdot \frac{1-\eta_z}{\eta_z} =$$

$$= B \cdot K \cdot \frac{1-\eta_z}{\eta_z}, \quad (22)$$

unde, s-a notat cu B constanta :

$$B = \frac{R_t (G_0 + G_N)}{i}, \quad (22\text{ a})$$

iar K este dat de relația (19). Valorile uzuale ale lui G_0 sînt $G_0 \approx (0{,}02 \ldots 0{,}05)\, G_N$. Pentru cristalizarea ideilor vom admite $G_0 = 0{,}04\ G_N$. Din curbele ridicate experimental, prezentate în lucrările de specialitate [1], [11], se poate deduce, pe baza relației (22), curba de variație a cuplului de frecări cu sarcina : $M'_{FZ} = f(G_z)$. Pe acele curbe se vede că pentru valoarea factorului K, egală cu 1, mărimea η_N poate lua valori $0{,}65 < \eta_N < 0{,}9$. În general se admite $0{,}7 < \eta_N < 0{,}9$; ($\eta_N = 0{,}65$ corespunde unui randament foarte scăzut al transmisiei).

În această situație cuplul de frecări la sarcina nominală, dedus din relațiile (18) se încadrează în următoarele limite : $0{,}1\ M_D < |M'_{FN}| < 0{,}3\ M_D$.

Trasînd deci curbele $M'_{Fz} = f(G_Z)$ pentru diferite valori ale lui η_N se constată că :

$$M'_{FN} \simeq (1{,}4 \div 1{,}8) M'_{F0} = K_1\, M'_{FO}. \quad (23)$$

Așadar, cuplul de frecare la sarcina nominală, este, în general, ceva mai mic decît de 2 ori cuplul de frecări la mersul în gol M'_{FO}. Admițînd o variație liniară a cuplului de frecări M'_{Fz} cu sarcina G_z, așa cum se arată și în alte lucrări de specialitate [7], [8] se obține pentru M'_{FZ} o relație de forma :

$$M'_{Fz} = M'_{F0} + K_z \frac{G_z}{G_N}. \quad (24).$$

Pentru $G_z = G_N$ se poate deduce, conform relației (23) și (24) :

$$K_Z = (K_1 - 1)\, M'_{FO} =$$

$$= (0{,}4 \div 0{,}8)\, M'_{F0}. \quad (24\text{ a})$$

Pentru cristalizarea ideilor se va admite $K_1 = 1{,}6$; deci, $K_z = 0{,}6\ M'_{FO}$. De aici rezultă expresia finală a cuplului de frecări și a componentelor sale :

$$M'_{FZ} = M'_{F0} + M'_{F\Delta z} =$$

$$= M'_{F0} + M'_{F0}(K_1 - 1) \cdot \frac{G_z}{G_N} \quad (24\text{ b})$$

$$\text{Notînd } K_F = M'_{F0} \cdot \frac{K_1 - 1}{G_N}, \quad (24\text{ c})$$

rezultă, din relațiile (14), (24) (24 b), expresia cuplului de frecări al sarcinii $M'_{FZ} = M'_{F0} +$

$$+ M_{F\Delta z} = M'_{F0} + K_F \cdot G_z \quad (25)$$

În cazul greutății nominale :

$$M'_{FN} = M'_{F0} + M'_{F\Delta N} = M'_{F0} + K_F G_N \quad (25\text{ a})$$

Deci, acest cuplu M'_F se compune din două părți :

— o parte constantă, reprezentînd cuplul de frecări în gol M'_{F0} ;

— o parte variabilă cu greutatea, surplusul de cuplu de frecări care crește aproximativ proporțional cu greutatea atîrnată în cîrlig $M'_{F\Delta z}$.

Dintre aceste componente cea cu pondere mai mare este M'_{F0}, reprezentînd, în general, circa 2/3 din M'_{FN} (cuplul de pierderi mecanice totale la greutate nominală în cîrlig). Pe locul 2 vine $M'_{F\Delta N}$, reprezentînd circa 1/3 din M'_{FN}.

De multe ori se face abstracție de variația cuplului de frecări cu sarcina, considerîndu-se în calcule drept cuplu de frecări, o valoarea medie constantă egală cu :

$$M'_{Fmed} = M'_{F0} + \frac{M'_{F\Delta N}}{2} = M'_{F0} + K_F \cdot \frac{G_N}{2}.$$

Relația (25) dă valoarea absolută a cuplului de frecări. În ceea ce privește sensul său, se poate spune că acest cuplu este îndreptat întotdeauna astfel, încît se opune mișcării, așa încît semnul său este contrar semnului turației n. Vom scrie deci :

$$M'_{Fz} = -\operatorname{sign}(n)\, |M'_{Fz}| = -Sign(n)$$

$$[\,|M'_{F0}| + |K_F G_z|\,]. \quad (26)$$

În expresia de mai sus factorul *Sign* (n) poate avea următoarele valori: *Sign* $(n) = +1$ cînd $n > 0$; *Sign* $(n) = -1$ cînd $n < 0$.

Revenind la relația (11 a) vom descompune cuplul total de sarcină M'_T în cele 2 componente principale ale sale: M'_G (cuplul creat de greutate) și M'_F (cuplul de frecări) pe care le vom scrie în relația matematică cu semnele lor algebrice. Obținem astfel, ținînd seama de considerațiile de mai sus și de relațiile (11 a), (18), (26) expresia cuplului total dezvoltat de mașină

$$M_{Tz} = -M'_{Tz} = -[-|M'_{Gz}| - \\ - Sign\,(n)\,|M'_{Fz}|]. \qquad (27)$$

În mărimi algebrice, așa cum s-a mai spus de altfel, cuplul de sarcină, creat de greutate, M'_{Gz} va apare întotdeauna cu semnul minus dată fiind convenția de semne adoptată. Desfăcînd paranteza mare în relația (27) obținem:

$$M_{TZ} = +|M'_{Gz}| + Sign\,(n) \cdot |M'_{Fz}|. \qquad (27\,a)$$

Relația (27 a) este valabilă în mod riguros și neschimbată în orice cadran și în orice regim de funcționare.

În concluzie, cuplul dezvoltat de mașină se compune din două părți: o parte $M_{GZ} = -M'_{GZ} = |M'_{GZ}|$, care are întotdeauna semnul plus și este direct proporțională cu greutatea și o altă parte $M_{FZ} = -M'_{FZ} = +Sign\,(n)\,|M'_{FZ}|$ care are același semn cu turația; componența lui M'_{FZ} este dată de relația (26).

3.3. Relații între principalele valori ale cuplului dezvoltat de mașină (figura 7). În cele ce urmează simbolul M, afectat de un singur indice, reprezintă valoarea cuplului în acel punct al figurii 7 marcat prin litera de la indice.

Conform sistematizării de notație, vom avea pentru punctul D și pentru punctul I din figura 7 următoarele mărimi caracteristice:

$M_D = M_{TNm}$ — cuplul total pe care trebuie să-l dezvolte mașina la ridicarea greutății nominale G_N, cu viteza staționară nominală n_{Nm}, în regim de motor pe caracteristica naturală de alimentare normală (cuplul din punctul D).

$n_D = n_{Nm}$ — turația nominală din datele tehnice ale mașinii (în punctul D).

$M_I = M_{TNg}$ — cuplul pe care trebuie să-l dezvolte mașina la coborîrea greutății nominale G_N, cu viteza staționară n_{Ng} în regim de generator suprasincron, pe caracteristica naturală de alimentare inversă (cuplul din punctul I).

În acest caz conform relației (27 a) de mai sus vom avea:

$$M_D = M_{TNm} = |M'_{GN}| + |M'_{FN}| \qquad (28)$$

$$M_I = M_{TNg} = |M'_{GN}| - |M'_{FN}| \qquad (29)$$

Ținînd seamă că $M_G = M_{,G}$ (componentele corespunzătoare greutății în cuplul mașinii M, respectiv în cuplul de sarcină M') se deduce din relația (18) pentru cazul greutății nominale

$$M_{TNm} = M_D = |M'_{GN}| \cdot \frac{1}{\eta_N}. \qquad (30)$$

$$\text{și } M_{TNg} = M_I = |M'_{GN}| \cdot \frac{2\eta_N}{\eta_N} = \\ = M_{TNf} = M_B \cdot \qquad (31)$$

Făcînd raportul obținem:

$$\frac{M_{TNg}}{M_{TNm}} = \frac{M_I}{M_D} = 2\,\eta_N - 1. \qquad (32)$$

Relația (32) este foarte importantă. Ea arată că, atunci cînd coboară greutatea nominală în regim de generator sau de frînă cu viteză constantă, cuplul pe care trebuie să-l dezvolte mașina este de $(2\eta_N - 1)$ ori mai mic decît cel pe care îl dezvoltă cînd ridică aceeași greutate în regim de motor.

Această diferență se datorește faptului că, așa cum arată relația (27 a), cuplul total dezvoltat de motor M_T are două componente care se însumează algebric; în cadranul I ambele componente au semn pozitiv, pe cîtă vreme în cadranul IV una are semn pozitiv (M'_G) iar alta are semn negativ $[Sign\,(n)\,M'_F]$

3.4. Cadrane și domenii. Analizînd relația (27 a) observăm că pentru $n > 0$, vom avea $M_T > 0$ oricare ar fi valorile absolute ale componentelor. De aici rezultă că motorul de ridicare nu are puncte staționare de funcționare în cadranul II. Aceeași relație ne arată că motorul are în mod precis puncte staționare de funcționare în cadranul I, ambele componente ale cuplului M_T fiind pozitive.

Întrucît pentru valori mai mari ale greutății G_z, poate fi satisfăcută inecuația $|M'_{GZ}| > |M'_{FZ}|$, rezultă că motorul va avea în mod sigur puncte staționare de funcționare și în cadranul IV unde $n < 0$.

Condiția ca un motor de ridicat să aibă puncte staționare de funcționare în cadranul III se exprimă matematic astfel: $M_T < 0$ pentru $n < 0$ ceea ce duce la următoarea inecuație:

$$|M'_{GZ}| - |M'_{FZ}| < 0, \text{ sau } |M'_{GZ}| < |M'_{FZ}|. \qquad (33)$$

Valoarea cea mai mică a lui $|M'_{GZ}|$ este $|M'_{G0}|$ adică cuplul creat la arbore de greutatea cîrligului gol G_0. Pentru această greutate valoarea cuplului de pierderi devine M_{F0}. Într-un caz extrem deci, condiția (33) devine $|M'_{G0}| < |M'_{F0}|$ (34).

Interpretarea fizică a relației (34) este aceea că un motor de macara poate avea puncte staționare de funcționare în cadranul III, numai dacă cuplul creat de greutatea cîrligului gol G_0, nu poate învinge cuplul de frecări la mers în gol.

Dacă este satisfăcută condiția (34) mașina lucrează în cadranul III în regim de motor ca și în cadranul I. Condiția (34) este îndeplinită la majoritatea mecanismelor de ridicare, deoarece valorile uzuale sînt aproximativ următoarele: $|M'_{G0}| \approx 0{,}04\ M_D$ iar $|M'_{F0}| \approx \approx 0{,}12\ M_D$.

Acum se vor scrie ecuațiile frontierelor domeniului regimului staționar:

— în cadranul I, frontierele în direcția M sînt determinate de inegalitățile:

$$M_{G0} + M_{F0} < M < M_{GN} + M_{FN}\ ; \quad (35)$$

(dreapta AE), (dreapta CD),

— în cadranul III frontiera din direcția M este determinată de următoarea inegalitate exprimată în mărimi algebrice

$$M > M_{G0} + Sign\,(n)\,|M_{F0}| = \\ = M_{G0} - |M_{F0}|\ ; \quad (36)$$

— în cadranul IV frontiera în direcția $+M$ este determinată de inegalitatea (exprimată tot în mărimi algebrice):

$$M < M_{GN} + Sign\,(n)\,|M_{FN}| = \\ = M_{GN} - |M_{FN}|. \quad (37)$$

Examinînd figura 7 observăm:

— cuplul în punctul A (cadr. I) este

$$M_A = M_{G0} + |M_{F0}|\ ;$$

— cuplul în punctul B (cadr. IV) este

$$M_B = M_{GN} - |M_{FN}|\ ;$$

— cuplul în punctul C (cadr. I) este

$$M_C = M_{GN} + |M_{FN}|\ ;$$

— cuplul în punctul R (cadr. III) este

$$M_R = M_{G0} - |M_{F0}|.$$

Lățimile domeniilor regimurilor staționare D_{sri} pe axa $n = 0$ sînt:

— pentru cadranul 1, D_{sr1} $\Delta M_1 = M_C - \\ - M_A = M_{GN} - M_{G0} + |M_{F\Delta N}|\ ;$

— pentru cadranul 3, D_{sr3} $\Delta M_3 = M_R = \\ = M_{G0} - |M_{F0}|\ ;$

— pentru cadranul 4, D_{rs4} $\Delta M_4 = M_B = \\ = M_{GN} - |M_{FN}|.$

Lățimea totală a domeniului regimului staționar în cadranul III și IV pe axa $n = 0$ (Segm R. B.):

$$\Delta M_{34} = M_B - M_R = M_{GN} - M_{G0} - |M_{F\Delta N}|. \quad (38)$$

Diferența de lățime între domeniul D_{sr1} și domeniul $(D_{sr3} + D_{s.4})$ pe axa $n = 0$ este deci: $\Delta M_{1-34} = 2\,|M_{F\Delta N}|$, adică, este egală cu de două ori surplusul de cuplu de frecări la sarcina nominală față de cel de mers în gol.

În figura 7 s-a trasat cu linie punctată (în cadranul II) curba care indică cuplul total de sarcină pentru o greutate în cîrlig egală cu greutatea nominală. Alura acestei mărimi, notată, conform sistematizării, cu M'_{TN} este, așadar, reprezentată de curba C'D'. Se vede că pentru orice turație $M'_{TN} = -M_{TN}$. În ceea ce privește relațiile dintre domenii se poate spune:

$$Dtp \supset Dtr \supset Dtru \supset Dtrul \supset Dsru. \quad (39)$$

3.5. În încheiere trebuie subliniat faptul că teoria de mai sus este valabilă în cazul frontierelor domeniului staționar realizabil utilizat D_{sru} în direcția $+M$ și $-M$ pentru orice tip de motor de macara. Același lucru se poate spune despre frontiera din stînga sus (cadranul II) a domeniului D_{tr}. Pentru motorul de c.c. cu excitație independentă sau pentru grupul Ward-Leonard, domeniul D_{sru} are aceleași limite și în direcția $+n$ și $-n$ ca și în cazul motorului asincron, cu precizarea că aici caracteristicile mecanice naturale au expresia $n = \\ = \pm n_0 - \frac{RI}{K_e \cdot \Phi_N}$, n_0 fiind turația de mers în gol, ideală, dată de relația $n_0 = \frac{U_N}{K_e \Phi_N}$. În ceea ce privește frontierele regimului tranzitoriu realizabil D_{tr} în direcția $+M$ și $-M$, acestea nu mai sînt naturale în cazul motorului de c.c. cu excitație independentă, ci limitele în direcțiile M trebuie introduse prin sistemul aferent de reglare sau de protecție din motive de securitate.

3.6. Determinarea domeniilor regimurilor tranzitorii și a domeniului regimului staționar real utilizat D_{sru}, așa cum apare grafic în figura 7, ne dă o imagine clară asupra mulțimii punctelor posibile de funcționare a motorului asincron de macara în planul M-n. Această imagine, precum și relațiile stabilite în paragrafele 3.2, și 3.3 sînt utile la calcularea solicitărilor motorului în diferite puncte extreme de funcționare și la proiectarea și dimensionarea schemelor de acționare reglabilă pentru macarale.

Bibliografie

[1] Manualul inginerului electrician, vol. VIII, București, Editura tehnică, 1959, p. 14.

[2] *Otto, H.* Antriebe mit Halbleiter — Stromrichtern über netzgeführte Stromrichter. În: Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ) vol. 88, nr. 18, 1967, p. 452, Berlin, 1967.

[3] *Otto, H.* Drehzahlregelung der Asynchronmaschine durch Veränderung ihrer Ständerspannung über die Anschnittsteuerung von Thyristoren. În: Fördern und Heben 16 Jahrgang nr. 8, august 1966.

[4] *Kümmel, F.* Geregelte Antriebe mit Drehstrom-Schleifringläufermotoren. În: VDE Buchreihe Band 11, pag. 512. Verlag GMBH Berlin 1966.

[5] *Koppelman, F.* și *Michel, M.* Kontaktlose Steuerung der Drehzahl von Asynchronmotoren mit Hilfe antiparalleler Thyristoren. În: AEG Mitteilungen 1/2, 1964, p. 126.

[6] *Abraham, L.* și *Patzschke, U.* Pulstechnik fur die Drehzahlsteuerung von Asynchronmotoren. În: AEG Mitteilungen 1/2, 1964, p. 133.

[7] *Korb, F.* Einstellung der Drehzahl von Induktionsmotoren durch antiparallele Ventile auf der Netzseite. În: Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ-A) 86, nr. 8, 1965, p. 275.

[8] *Brașovan, M., Seracin, E.* și *Bogoevici, N.* Acționări electrice. Probleme și aplicații industriale. București, Editura tehnică, 1962.

[9] *Damsker, D.* Acționarea electrică, vol. I. București, Editura energetică de stat, 1955.

[10] *Morozov, D.P.* Principiile de bază ale dispozitivelor electrice de acționare. București, Editura tehnică, 1952.

[11] *Boțan, N., Coman, L.* și *Sebastian, L.* Acționarea electrică a macaralelor și podurilor rulante. București, Editura tehnică, 1968.

Intrat în redacție la 24.III.1973

Aplicarea frînării cu recuperare la tramvaiul I.T.B. — provincie

MIRCEA OPRIȘOR* — Iași

CZ 621.337.522

La cererea Întreprinderii de transport din Iași, începînd din 1967 [1], s-a procedat la studierea sistematică a posibilităților introducerii frînării cu recuperare de energie electrică pe tramvaiul ITB-provincie. În prezenta lucrare sînt urmărite principalele aspecte ale problemei, acordîndu-se prioritate concluziilor menite să facă posibilă generalizarea procedeului. De asemenea, sînt prezentate caracteristicile de reglaj pentru a ușura aplicarea ulterioară a reglării prin impulsuri.

Alegerea schemei de frînare

La alegerea schemei de frînare cu recuperare s-a avut în vedere:

— obținerea unei forțe de frînare, reglabile fin și economic, într-un domeniu larg de viteze;

— asigurarea stabilității mecanice și electrice a regimului de frînare și în special eliminarea influențelor defavorabile ale variațiilor tensiunii liniei de contact sau tensiunii de excitație;

— echilibrarea încărcării mașinilor conectate în paralel;

— obținerea unei economicități maxime prin modificarea la minimum a schemei existente și prin reducerea la maximum a consumurilor suplimentare de energie electrică pe rezistențele din circuit;

— o comandă cît mai simplă la intrarea și ieșirea din regimul de frînare cu recuperare și o trecere cît mai ușoară în regimurile motor și frînare dinamică.

Schema electrică adoptată conform acestor cerințe prevede excitarea separată a mașinilor în regim de generator (fig. 1); curentul de excitație este anticompoundat cu cel de frînare obținîndu-se stabilitatea electrică necesară. Reglajul forței de frînare se realizează prin intermediul unui reostat din circuitul de excitație al excitatoarei, fiind astfel economic și independent de curentul de frînare. Conectarea în paralel se execută numai asupra rotoarelor în scopul menținerii unui nivel egal de excitație și în condiția menținerii unui aceluiași grad de compoundaj. Egalizarea încărcărilor pe rotoare este obținută în principal prin înscrierea înfășurărilor de excitație. În cazuri speciale se

* Ing. *M. Oprișor* este șef de lucrări la I.P.-Iași.

poate înseria la indusul cu curentul de frînare mai mare o rezistenţă suplimentară (în serie cu contactul 6 pentru M_1, respectiv cu contactul 8 pentru M_2). Aceasta nu intervine în

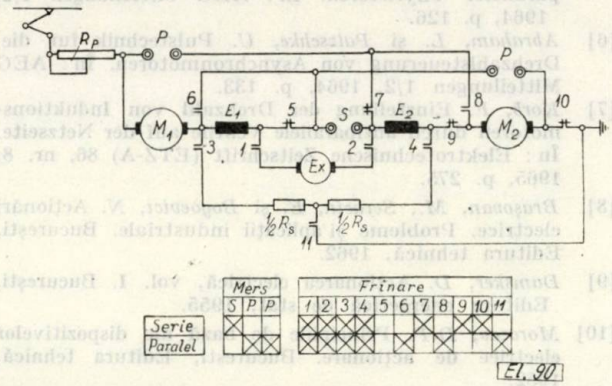


Fig. 1. Modificările propuse în schema tranvaiului ITB-provincie pentru introducerea frînării recuperative cu excitaţie separată anticompoundată.

circuit decît la schema de frînare cu recuperare cu maşinile în paralel.

Schema de frînare propusă impune un număr de 11 contacte suplimentare, dintre care *1—5* acţionate atît la conexiunea serie, cît şi la cea paralelă *7*, *9* şi *10* numai la conexiunea serie, iar *6*, *8* şi *11* numai la conexiunea paralelă. Acţionarea acestor contacte poate fi realizată fie cu un controler suplimentar, fie cu contactoare. În ambele cazuri comanda poate fi sincronizată simplu la poziţiile *1*, respectiv *6*, ale controlerului principal, fără a afecta comenzile pentru regimurile motor şi frînare dinamică. În acest fel se admite posibilitatea introducerii unor trepte ale rezistenţei de pornire, necesare în anumite situaţii de viteză ridicată etc.

În cazul folosirii controlerului suplimentar, sincronizarea se comandă mecanic pe poziţia 0 a controlerului principal şi se realizează printr-un mecanism „cruce de Malta". Aceeaşi comandă realizează şi alimentarea grupului de excitaţie. Spaţiul solicitat de acest controler, ca şi soluţia constructivă, corespund unora dintre tramvaiele folosite în Iaşi (AEG).

În cazul folosirii contactoarelor, sînt necesare două contacte suplimentare pe controlerul principal, acţionate pe poziţiile 1—5 şi respectiv 6—11. Comanda intrării în regim de frînare cu recuperare se reduce la alimentarea simultană a grupului de excitaţie şi a circuitului bobinelor contactoarelor. Evident, schema cu contactoare se pretează mai bine la automatizarea comenzilor şi controlul condiţiilor de frînare.

Corespunzător schemei adoptate, atît la conexiunea serie, cît şi la conexiunea paralel, tensiunea de excitaţie este:

$$U_e = (n \cdot R_e + R_s)\, I_e + R_s \cdot I_{f1}, \qquad (1)$$

în care, n este numărul de maşini ale vehiculului, R_e este rezistenţa înfăşurării de excitaţie a uneia dintre maşini, R_s este rezistenţa totală de stabilizare, I_{f1} este curentul de frînare total la conexiunea serie, respectiv curentul de frînare pe o ramură la conexiunea paralel.

Dacă gradul de compoundaj al curenţilor de frînare şi excitaţie este:

$$\beta = -\frac{\mathrm{d}I_e}{\mathrm{d}I_{f1}} = \frac{R_s}{R_s + n \cdot R_e}, \qquad (2)$$

curentul de excitaţie are expresia:

$$I_e = \beta\left(\frac{U_e}{R_s} - I_{f1}\right). \qquad (3)$$

Tensiunea electromotoare pentru o maşină, la conexiunea serie, este dată de relaţia:

$$E_1 = \frac{1}{n}(U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + \left(\frac{1}{n} \cdot R_p + R_a + \beta \cdot R_e\right) I_{f1}, \qquad (4)$$

iar pentru m ramuri în paralel, cuprinzînd $\frac{n}{m}$ maşini pe ramură şi folosind în circuitul comun al indusurilor o rezistenţă de stabilizare de valoare $\frac{1}{m} \cdot R_s$, iar în circuitul de excitaţie o rezistenţă de corecţie de valoare $\frac{m-1}{m} \cdot R_s$ pentru menţinerea unui aceluiaşi nivel de excitaţie, aceeaşi t.e.m. va fi dată de relaţia:

$$E_1 = \frac{1}{n}(m \cdot U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + \left(\frac{m^2}{n} \cdot R_p + R_a + \frac{m-1}{n} \cdot \beta \cdot R_s + m \cdot \beta \cdot R_e\right) I_{f1}, \qquad (5)$$

în care U_c este tensiunea liniei de contact, U_e este tensiunea de excitaţie (constantă pentru schema adoptată), ΔU_p este căderea de tensiune la periile uneia dintre maşini, iar R_p este valoarea rezistenţei suplimentare din circuit (trepte ale rezistenţei de pornire, inclusiv rezistenţa de echilibrare înseriată pe ramură).

Din expresiile t.e.m. se găseşte viteza de frînare:

$$V = \frac{\pi \cdot D_0}{60 \cdot i} \cdot \frac{E_1}{k_e \cdot \Phi}, \left[\frac{m}{s}\right] \quad (6)$$

iar cu datele mașinilor se găsește forța de frînare:

$$F_f = n \cdot \frac{2 \cdot g \cdot i}{D_0 \eta_{tr} \eta_m} \cdot k_m \cdot \Phi \cdot I_{fl}, \quad [N] \quad (7)$$

Înlocuind valorile parametrilor, corespunzătoare tramvaiului ITB-provincie: $U_c = 750$ V; $\Delta U_p = 2$V; $R_a = 0{,}45$ Ω; $R_e = 0{,}285$ Ω; $k_e = 24{,}6$; $k_m = 24{,}2$; $n = m = 2$ motoare; $D_0 = 0{,}87$ m; $i = 5{,}5$; $I_h = 120$ A ($P_h = 40$ kW autoventilație); $\eta_{tr} = 0{,}955$ (randamentul transmisiei prin reductor nou în baie de ulei), găsim relațiile:

$$V = 8{,}2783 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{E_1}{k_e \cdot \Phi}, \quad \frac{m}{s} \quad (6')$$

$$F_f = 6300 \cdot \frac{\Phi \cdot I_{fl}}{\eta_m}, \quad [N]. \quad (7')$$

Cu ajutorul curbelor din figura 2 și cu expresiile (6') și (7') se trasează caracteristicile mecanice $F_f = f(V)$ pentru $\Phi = ct.$, respectiv $I_{fl} = ct.$

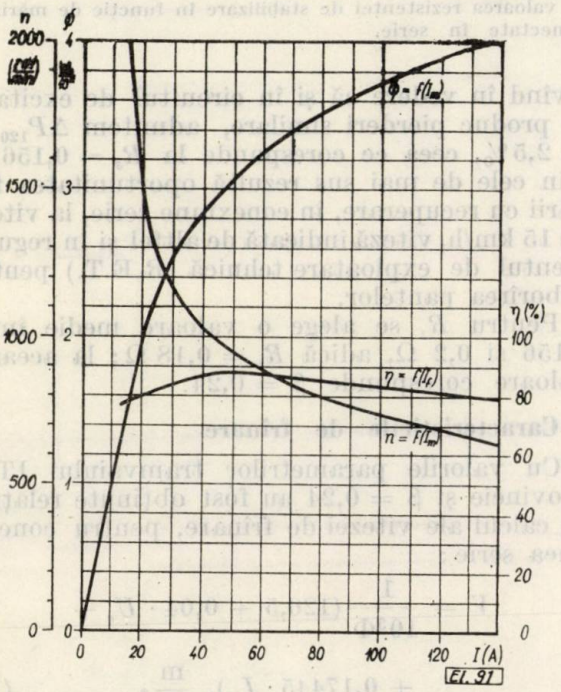


Fig. 2. Caracteristicile de bază ale motorului de acționare a tramvaiului ITB-provincie.

Alegerea rezistenței de stabilizare

Rezistența de stabilizare are rolul de a limita variațiile forței de frînare cauzate de modificarea bruscă a tensiunii liniei de contact sau a tensiunii de excitație. Din ecuația (4) sau (5) se observă că o creștere a uneia dintre aceste tensiuni impune creșterea corespunzătoare a t.e.m. Cum mașinile sînt excitate separat, fluxul inductor fiind constant, va rezulta o creștere de n ori mai mare a vitezei de rotație a mașinilor:

$$dU_c = dU_e \equiv n \cdot dn_m.$$

Deoarece inerția mare a maselor în mișcare nu permite variații bruște ale vitezei de rotație a mașinilor

$$n_m = 120{,}8 \cdot V, \quad \frac{rot}{min}, \quad (8)$$

va rezulta o scădere a curentului de frînare, care se poate anula sau schimbă semnul, corespunzător regimului motor. Introducerea rezistenței de anticompoundaj R_s produce supraexcitarea automată a mașinilor la scăderea curentului din indus și stabilizarea frînării cu recuperare.

Pentru alegerea valorii optime a rezistenței de stabilizare trebuie să se țină seama de toți parametrii ce sînt influențați de valoarea acesteia. În acest sens, în figura 3 au fost trasate curbele de variație a unor parametri, în funcție de valoarea R_s, pentru conexiunea serie.

Curba $E_1 = f(R_s)$, obținută din ecuația (4) pentru cazul limită $I_{fl} = I_e = I_h = 120$ A, rezultă din:

$$E_1 = 120\,(3{,}6 + R_s), \text{ V}. \quad (9)$$

Se observă că pentru $0 \leqslant R \leqslant 2$ rezultă: $115\,\% \frac{U_c}{2} \leqslant E_1 \leqslant 179\,\% \frac{U_c}{2}$ adică o creștere a t.e.m. odată cu creșterea R_s, ceea ce favorizează stabilitatea electrică a frînării. În schimb, creșterea lui E_1 determină creșterea tensiunii liniei de contact, deranjînd funcționarea altor unități motoare sau a substanței, iar la viteze mari poate deveni periculoasă pentru izolația mașinilor sau instalației.

Creșterea rezistenței R_s determină curbarea mai accentuată a caracteristicilor de frînare la $U_e = ct.$, ceea ce se explică prin subexcitarea produsă la creșterea curentului de frînare I_{fl}. Va rezulta deci o îndulcire a reglării forței de frînare, dar și o extindere a domeniului de viteze pentru un același U_e. În acest sens, în figura 3 se poate observa caracteristica $V = f(R_s$ crescătoare cu valoarea lui R_s. Aceasta se obține, pentru aceleași condiții, considerînd în ecuația (9), $\Phi_{120U} = 0{,}039$ Wb și n_m dat de ecuația (8), de unde rezultă:

$$V = 1{,}0354\,(3{,}6 + R_s), \frac{m}{s}. \quad (10)$$

Constatăm, în primul rînd, proporţionalitatea dintre viteza de frînare şi tensiunea electromotoare $V \equiv E_1$. În al doilea rînd putem determina valoarea rezistenţei R_s corespunzătoare vitezei $V = 15$ km/h (prescrisă de R.E.T.)

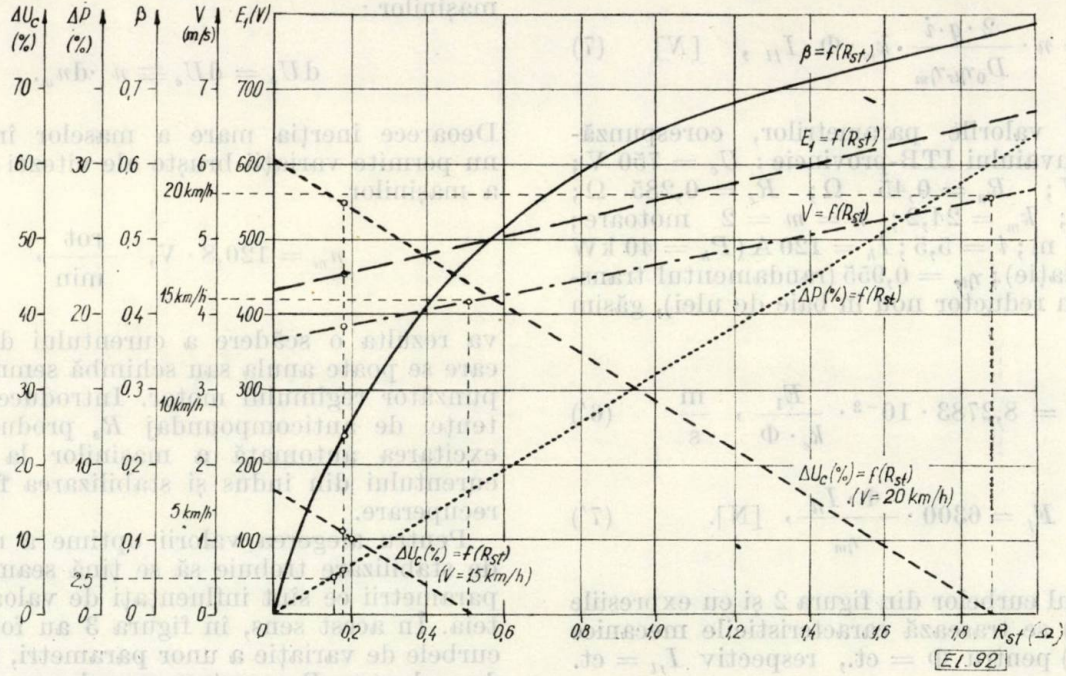


Fig. 3. Caracteristicile de variaţie ale parametrilor influenţaţi de valoarea rezistenţei de stabilizare în funcţie de mărimea acesteia. Motoarele sînt conectate în serie.

$R_s = 0{,}51\ \Omega$, sau unei viteze mai mari, de exemplu $V = 20$ km/h : $R'_s = 1{,}88\ \Omega$. Evident, acestea sînt valori maxime ale lui R_s, maşinile funcţionînd de regulă în condiţia $I_e < I_h$ şi de cele mai multe ori subexcitate.

Nivelul de subexcitare este dependent de gradul de compoundaj, reprezentat şi el în figura 3 în concordanţă cu ecuaţia (2). Observăm că pentru $R_s > 0{,}5\ \Omega$ gradul de compoundaj variază puţin cu creşterea lui R_s, adică pentru o creştere de 300% a lui R corespunde o creştere de numai 66% a lui β.

În aceeaşi figură au fost trasate, pentru aceleaşi condiţii, curbele variaţiei admisibile a tensiunii liniei de contact $\Delta U_c = f(R_s)$ pentru vitezele de 15 şi 20 km/h (4,17 respectiv 5,56 m/s):

$$\Delta U_{c_{15}} = 32\ (0{,}519 - R_s), \quad \%. \tag{11}$$

$$\Delta U_{c_{20}} = 32\ (1{,}89 - R_s), \quad \%. \tag{12}$$

Admiţînd o variaţie de 10% a tensiunii U_c, adică 75 V, găsim la 15 km/h : $R_s = 0{,}2\Omega$, iar la 20 km/h : $R_s = 1{,}577\ \Omega$.

Pentru a decide valoarea optimă a rezistenţei de stabilizare trebuie luate în considerare şi pierderile de putere pe rezistenţa de stabilizare $\Delta P = R_s \cdot I_{fl}^2$, adică $\Delta P_{120A} = 14{,}4 \cdot R_s$, kW. În aceeaşi figură s-a trasat şi caracteristica

$$\Delta P_{120} = 16 \cdot R_s, \ \%. \tag{13}$$

Avînd în vedere că şi în circuitul de excitaţie se produc pierderi similare, admitem $\Delta P_{120} = 2{,}5\%$, ceea ce corespunde la $R_s = 0{,}156\ \Omega$. Din cele de mai sus rezultă oportunitatea frînării cu recuperare, în conexiune serie, la viteza de 15 km/h, viteză indicată de altfel şi în regulamentul de exploatare tehnică (R.E.T.) pentru coborîrea pantelor.

Pentru R_s se alege o valoare medie între 0,156 şi 0,2 Ω, adică $R_s = 0{,}18\ \Omega$; la această valoare corespunde $\beta = 0{,}24$.

Caracteristicile de frînare

Cu valorile parametrilor tramvaiului ITB-provincie şi $\beta = 0{,}24$ au fost obţinute relaţiile de calcul ale vitezei de frînare, pentru conexiunea serie :

$$V = \frac{1}{10^3 \Phi}(126{,}5 + 0{,}04 \cdot U_e + 0{,}17445 \cdot I_{fl}), \ \frac{\text{m}}{\text{s}}. \tag{14}$$

şi pentru conexiunea paralel :

$$V = \frac{1}{10^3 \Phi}(253 + 0{,}04 \cdot U_e + 0{,}205 \cdot I_{fl}), \ \frac{\text{m}}{\text{s}} \tag{15}$$

Folosind curbele din figura 2 şi ecuaţiile (7'), (14) şi (15) au fost trasate familiile de caracteristici de frînare, corespunzătoare la $U_e =$ = ct., respectiv I_{fl} = ct. (fig. 4). Acestea au

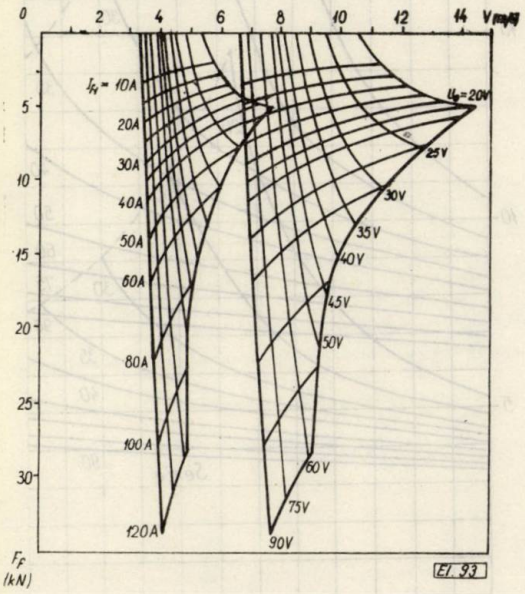


Fig. 4. Caracteristicile de frînare pentru conexiunile serie, respectiv paralel, pentru $R_s = 0{,}18\ \Omega$.

fost considerate între limitele $I_e = I_h = 120$ A (în stînga), $I_{fl} = I_h = 120$ A (în partea inferioară) şi $I_{e_{min}} = \frac{1}{2{,}5} \cdot I_{fl}$ (în dreapta). Dacă primele două limite sînt impuse de puterea nominală a maşinilor, ultima este impusă de necesitatea asigurării unei comutaţii satisfăcătoare a lor.

În figura 4 se poate aprecia alegerea justă a valorii rezistenţei de stabilizare R_s, forţa de frînare maximă putînd fi obţinută în apropierea vitezei de 15 km/h. Aceasta asigură un domeniu larg de reglare a forţei de frînare ($0 \leqslant F_f \leqslant 33$ kN) pentru o variaţie relativ redusă a tensiunii de excitaţie ($40 \leqslant U_e \leqslant$ $\leqslant 90$ V), fapt ce simplifică mult instalaţia de alimentare separată a excitaţiilor.

Dacă se ţine seamă că forţa de frînare necesară în fiecare caz dat este direct proporţională cu panta i ‰:

$$F_f = (i - r_r)\, G_c \ , \text{N} \qquad (16)$$

sau pentru tramvaiul ITB-provincie, considerat la o încărcare medie, greutatea convoiului (vagon motor + o remorcă) fiind $G_c \cong 27\ t =$ = 265 kN, iar rezistenţa specifică la rulare (acoperitor) fiind $r_r = 12$ kg/t = 12 N/kN, rezultă:

$$F_f = 265\ (i - 12), \text{ N},$$

şi se constată o mare capacitate de supraîncărcare a maşinilor pentru cazul dat. De exemplu, la o pantă $i = 80$ ‰ va rezulta $F_f = 18$ kN şi un coeficient de supraîncărcare $\lambda = \frac{33}{18} =$ = 1,83.

Din familia de caracteristici de frînare, pentru conexiunea serie, se constată posibilitatea frînării şi la viteza de 20 km/h folosindu-se aceeaşi valoare $R_s = 0{,}18\ \Omega$. Sporul de viteză fiind obţinut prin subexcitarea maşinilor, înrăutăţirea comutaţiei impune limitarea forţei de frînare la un maximum de circa 13 kN, restrîngîndu-se întrucîtva domeniul de pante sub $i = 60$ ‰. În această situaţie, limitarea I_{fl} sub 70 A permite funcţionări de lungă durată, iar variaţia lui U_e numai între limitele 15—35 V şi diminuarea corespunzătoare a lui I_e, fac mult mai economică instalaţia şi funcţionarea. În adevăr, $P_{e_{30}} \leqslant (U_e \cdot I_e)_{max} =$ = 1,042 kW, în timp ce $P_{e_{15}} \leqslant 8{,}21$ kW.

Pentru declivităţile mici este de preferat conexiunea paralel, viteza crescînd la 30 km/h (8,33 m/s). În această situaţie forţa de frînare maximă şi domeniul de reglare a tensiunii de excitaţie rămîn aceleaşi. Curentul total de frînare, fiind suma curenţilor de pe ramurile în paralel, este dublu. Astfel, pentru aceleaşi condiţii de excitaţie, economicitatea frînării este sporită şi va fi şi mai mare la viteze superioare lui 30 km/h.

Caracteristicile de reglaj

În figura 5 sînt prezentate caracteristicile $F_f = f(I_{fl})$ pentru $U_e =$ ct. Se constată o variaţie aproape liniară a forţei de frînare în funcţie de curentul de frînare la tensiuni de excitaţie cuprinse între 50 şi 90 V, maşinile funcţionînd saturate. În cazul unor tensiuni de excitaţie mai mici de 40 V se face resimţit efectul dezexcitant al anticompoundajului, forţa de frînare şi curentul de frînare fiind limitate.

Pragul limită al forţei de frînare, la nivele de excitaţie reduse se observă pe caracteristicile $F_f = f(U_e)$ pentru $I_{fl} =$ ct. (fig. 6). Aici se remarcă domeniul mare de variaţie a lui F_{fl} faţă de gama redusă de reglare a lui U_e. Dacă se ţine seama că U_e este reglat prin intermediul reostatului din circuitul de excitaţie al sursei de alimentare separate, rezultă coeficientul mare de amplificare al schemei şi economicitatea ei.

Tot din figura 6 se constată o limitare a creşterii F_f la tensiuni de excitaţie mari. Pentru

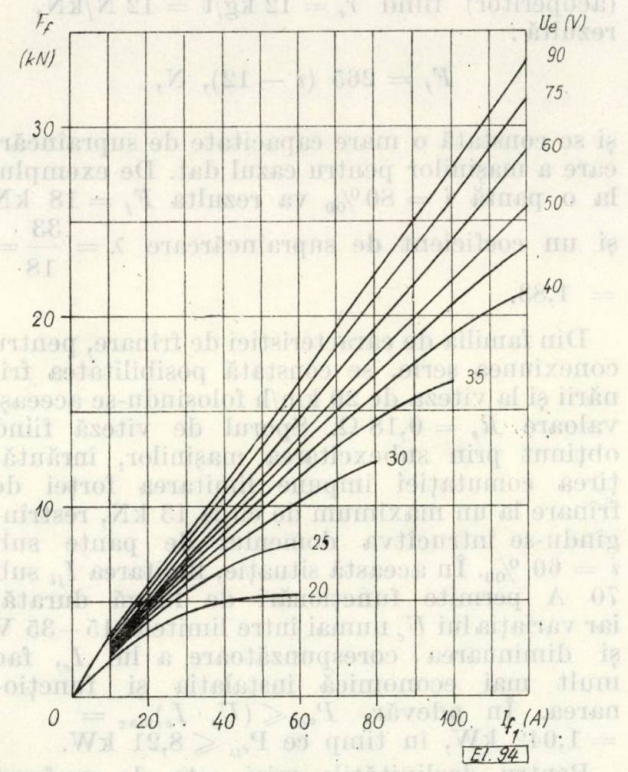


Fig. 5. Caracteristicile de reglaj $F_f = f(I_{f1})$ pentru $U_e =$ = ct.; $R_s = 0{,}18\Omega$.

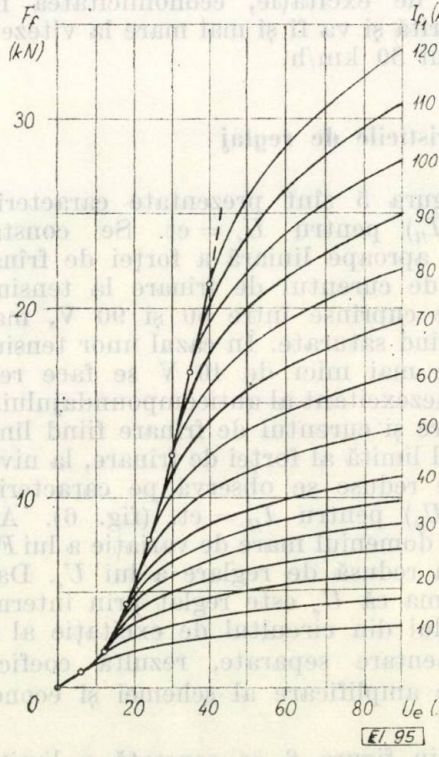


Fig. 6. Caracteristicile de reglaj $F_f = f(U_e)$ pentru I_{f1} = ct. și $R_s = 0{,}18\Omega$.

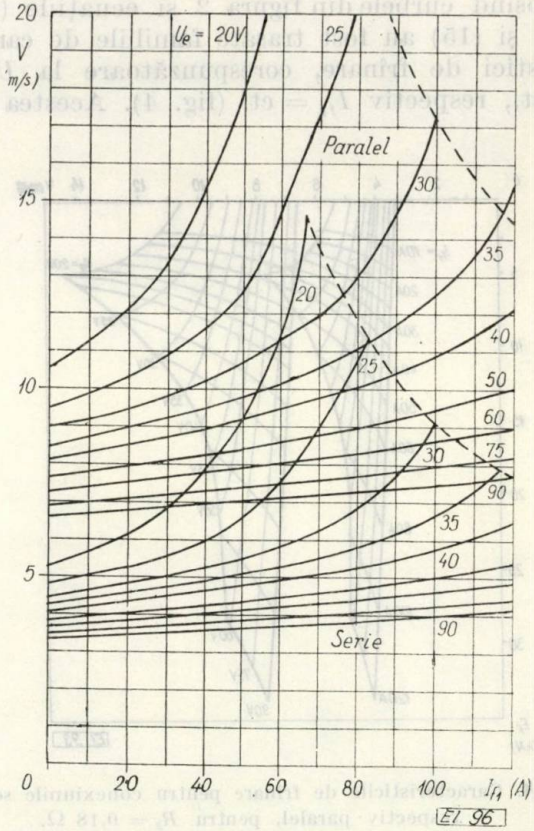


Fig. 7. Caracteristicile de reglaj al vitezei $V = f(I_{f1})$ pentru $U_e =$ ct.: $R_e = 0{,}18\ \Omega$

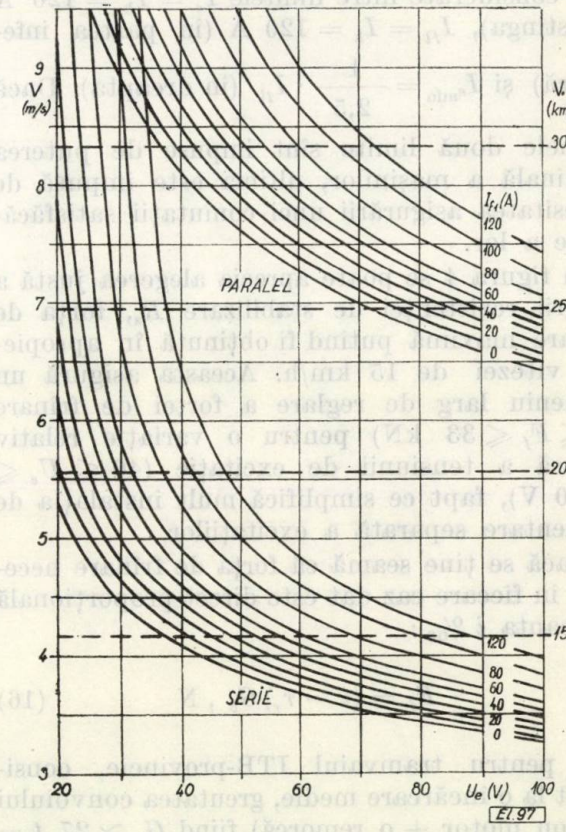


Fig. 8. Caracteristicile de reglaj al vitezei $V = f(U_e)$ pentru I_{f1} = ct. și $R_s = 0{,}18\Omega$

creşterea economicităţii schemei este indicat a se lucra la tensiuni de excitaţie reduse, cuprînse în domeniul 20 V (la $i = 25‰$ şi $I_{fl} = 20$ A) şi 45 V (la $i = 90‰$ şi $I_{fl} = 100$ A).

În figura 7 sînt trasate curbele $V = f(I_{fl})$ pentru U_e = ct., atît pentru conexiunea serie, cît şi pentru cea derivaţie. De asemenea, este marcată şi limita teoretică pentru o comutaţie satisfăcătoare $I_{fl} \leqslant 2{,}5 \cdot I_e$. Se constată posibilitatea frînării recuperative pentru întregul domeniu de curenţi de frînare la conexiunea serie în domeniul 15—20 km/h, iar la conexiunea derivaţie pentru dublul acestor viteze. Creşterea domeniului de viteze este limitată în partea inferioară de saturare a maşinilor, iar în partea superioară de înrăutăţirea comutaţiei. Trebuie menţionat că limita $I_{fl} \ll 2{,}5 \cdot I_e$ este teoretică, diferind după construcţia maşinilor şi trebuind să fie determinată experimental.

Trecerea de la conexiunea serie la conexiunea paralel este uşurată de suprapunerea celor două familii de caracteristici. Este indicat ca aceasta să fie însoţită de comutarea nivelului de excitaţie de la minim la maxim, evitîndu-se salturile curentului de frînare.

În figura 8 sînt prezentate caracteristicile $V = f(U_e)$ pentru I_{fl} = ct. Se constată o limitare a domeniului de reglare de U_e odată cu creşterea vitezei, crescînd însă economicitatea schemei. Trecerea de la conexiuna serie la paralel se obţine comod la viteza de 30 km/h.

Concluzii

Schema de frînare cu recuperare, propusă pentru tramvaiul ITB-provincie este economică şi stabilă pentru o gamă largă de viteze şi sarcini.

Capacitatea de supraîncărcare a maşinilor asigură funcţionarea în cele mai grele condiţii de frînare. Regimul lor termic fiind determinat de condiţiile specifice de exploatare (profil, distanţe între opriri etc.) urmează a fi analizat în lucrarea cuprinzînd rezultatele studiului referitor la oraşul Iaşi. Se poate menţiona totuşi că la un profil urban cu pante relativ scurte, încadrate de regulă cu porţiuni de palier mult mai lungi şi unde staţionările la cap de linie pot atinge 15% din timpul de mers pe un sens, încălzirea maşinilor nu ridică probleme deosebite.

Rezistenţa de stabilizarea se determină optim în funcţie de variaţiile admisibile ale tensiunii catenarei şi de pierderile de energie pe care le produce.

ANEXA

Determinarea expresiilor analitice

În cazul conexiunii serie (fig. 9) ecuaţia bilanţului tensiunilor circuitului de excitaţie al maşinilor este :

$$U_e = (n \cdot R_e + R_s)\, I_e + R_s \cdot I_{fl}.$$

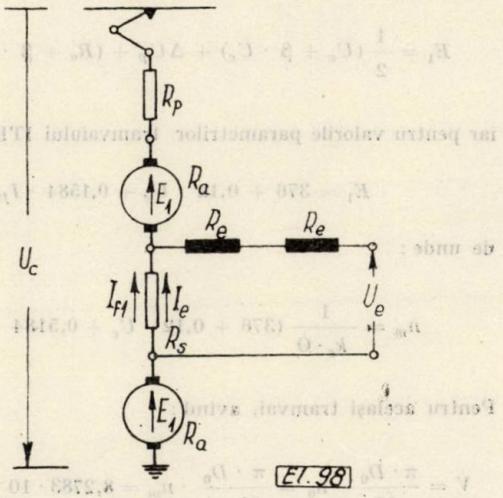


Fig. 9. Schema echivalentă a circuitului de forţă pentru conexiunea serie a motoarelor, corespunzătoare figurii 1.

De aici rezultă :

$$I_e = \frac{U_e - R_s \cdot I_{fl}}{n \cdot R_e + R_s},$$

sau :

$$I_e = \beta \left(\frac{U_e}{R_s} - I_{fl} \right).$$

Ecuaţia bilanţului tensiunilor circuitului rotoric este :

$$n \cdot E_1 = U_c + n \cdot \Delta U_p + (R_p + n \cdot R_a + R_s)\, I_{fl} + R_s \cdot I_e.$$

După înlocuirea lui I_e găsim :

$$n \cdot E_1 = U_c + n \cdot \Delta U_p + [R_p + n \cdot R_a + (1 - \beta)\, R_s]\, I_{fl} + \beta \cdot U_e,$$

de unde :

$$E_1 = \frac{1}{n}(U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + \left[\frac{1}{n} R_p + R_a + \frac{1 - \beta}{n} \cdot R_s \right] I_{fl} \cdot$$

sau :

$$E_1 = \frac{1}{n}(U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + \left(\frac{1}{n} \cdot R_p + R_a + \frac{1}{n} \cdot \frac{R_s + n \cdot R_e - R_s}{R_s + n \cdot R_e} \cdot R_s \right) I_{fl} \cdot$$

adică:

$$E_1 = \frac{1}{n}(U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + \left(\frac{1}{n} \cdot R_p + R_a + \beta \cdot R_e\right) I_{f1}.$$

Înlocuind: $n = 2$ și $R_p = 0$ obținem:

$$E_1 = \frac{1}{2}(U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + (R_a + \beta \cdot R_e) I_{f1},$$

iar pentru valorile parametrilor tramvaiului ITB-provincie:

$$E_1 = 376 + 0{,}12 \cdot U_c + 0{,}1584 \cdot I_{f1},$$

de unde:

$$n_m = \frac{1}{k_e \cdot \Phi}(376 + 0{,}12 \cdot U_e + 0{,}5184 \cdot I_{f1}).$$

Pentru același tramvai, avînd:

$$V = \frac{\pi \cdot D_0}{60} \cdot n_0 = \frac{\pi \cdot D_0}{60 \cdot i} \cdot n_m = 8{,}2783 \cdot 10^{-3} \cdot n_m, \quad \frac{m}{s},$$

vom găsi, după înlocuire:

$$V = \frac{1}{10^3 \cdot \Phi}(126{,}5 + 0{,}04 \cdot U_e + 0{,}17445 \cdot I_{f1}), \quad \frac{m}{s}.$$

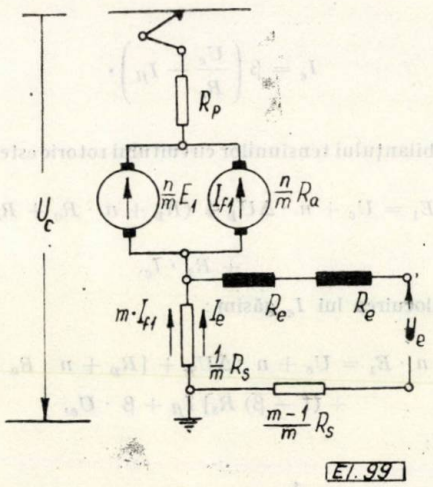


Fig. 10. Schema echivalentă a circuitului de forță pentru conexiunea derivație a motoarelor, corespunzătoare figurii 1.

În cazul conexiunii în paralel (fig. 10) ecuația bilanțului tensiunilor circuitului de excitație este:

$$U_e = \left(n \cdot R_e + \frac{1}{m} \cdot R_s + \frac{m-1}{m} \cdot R_s\right) I_e + \frac{1}{m} \cdot R_s \cdot m \cdot I_{f1}.$$

De aici obținem:

$$U_e = (n \cdot R_e + R_s) I_e + R_s \cdot I_{f1},$$

ecuație similară cazului cînd mașinile sînt conectate în serie. Prin urmare, curentul de excitație va fi același:

$$I_e = \frac{U_e - R_s \cdot I_{f1}}{R_s + n \cdot R_e}$$

iar coeficientul de conpoundaj rămîne neschimbat:

$$-\frac{dI_e}{dI_{f1}} = \beta = \frac{R_s}{R_s + n \cdot R_e}.$$

În consecință:

$$I_e = \beta\left(\frac{U_s}{R_s} - I_{f1}\right).$$

Dacă nu se admit curenți de egalizare între ramurile în paralel, pe fiecare din acestea fiind $\frac{n}{m}$ mașini în serie, t.e.m. totală pe ramură va fi:

$$\frac{n}{m} \cdot E_1 = U_c + \frac{n}{m} \cdot \Delta U_p + \left(m \cdot R_p + \frac{n}{m} \cdot R_a + \frac{1}{m} \cdot R_s\right) I_{f1} + \frac{1}{m} \cdot R_s (m-1) I_{f1} + \frac{1}{m} \cdot R_s \cdot I_e,$$

sau:

$$\frac{n}{m} \cdot E_1 = U_c + \frac{n}{m} \cdot \Delta U_p + \left(m \cdot R_p + \frac{n}{m} \cdot R_a + R_s\right) I_{f1} + \frac{1}{m} \cdot R_s \cdot I_e.$$

Înlocuind pe I_e găsim:

$$E_1 = \frac{1}{n}(m \cdot U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + \left(\frac{m^2}{n} R_p + R_a + \frac{m}{n} R_s - \frac{\beta}{n} R_s\right) I_{f1}.$$

sau:

$$E_1 = \frac{1}{n}(m \cdot U_c + \beta \cdot U_e) + \Delta U_p + \left(\frac{m^2}{n} R_p + R_a + \frac{m-1}{n} \beta \cdot R_s + m \beta R_s\right) I_{f1}.$$

Pentru aceleași condiții și aceiași parametri ca și la conexiunea serie găsim:

$$E_1 = 752 + 0{,}12 \cdot U_e + 0{,}6084 \cdot I_{f1}, \quad V$$

De unde:

$$n_m = \frac{1}{k_e \Phi}(752 + 0{,}12 \cdot U_e + 0{,}6084 \cdot I_{f1}), \quad \frac{\text{rot}}{\text{min}},$$

și, în fine:

$$V = \frac{1}{10^3 \Phi}(253 + 0{,}04 \cdot U_e + 0{,}205 \cdot I_{f1}), \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Bibliografie

[1] *Chiriac, L., Cantemir, L. și Oprișor, M.* Frînarea prin recuperare în rețeaua de tracțiune electrică a orașului Iași. Sesiunea științifică C.N.C.S.. Iași, 15—16 decembrie 1967.

[2] *Adolf, A.* Le frein à récupération sur les locomotives à courant continu. Bulletin A.I.C.C.F., **13**, nr. 2, 1962, p. 89=100.

[3] *Mikloși, C. și Șora, C.* Tracțiunea electrică. București E.D.P., 1961.

[4] *Cantemir, L. și Oprișor, M.* Tracțiune electrică. București, E.D.P., 1971.

Intrat în redacție la 2. XII. 1971

REFERATE

CZ 621.3 *Electrotehnică generală*

CZ 621.3.066.6 : 621.315.58 : 621.313.291.

Klaudy, P. **Un nou tip de contact alunecător cu lichid și aplicațiile sale posibile în construcția de mașini electrice de mare putere.** (Ein neuer Flüssigkeitsrolekontakt und seine mögliche Verwendung in Hochleistungselektromaschinenbau). In: Electrotechnik und Maschinenbau **89**, nr. 11, 1972, p. 439—445.

Se prezintă noi tipuri de contacte ce permit obținerea avantajelor atît a contactelor cu lichid cît și a celor alunecătoare. Astfel de contacte pot găsi aplicații atît la mașinile unipolare, caracterizate prin viteze periferice ridicate și intensități mari de curent, permițînd depășirea limitelor de putere de ordinul a 10 MW a realizărilor actuale cît și la excitația turbogeneratoarelor de mare putere. Contactele alunecătoare cu lichid constant din elementele metalice cilindrice ce vin în contact cu inelele rotitoare lichide (Hg), menținute de forțele de inerție în șanțuri prevăzute pe perimetrul părților rotitoare ale mașinilor electrice. Avantajele unor astfel de contacte sînt evidente în special atunci cînd vitezele periferice ale contactului cilindric și a stratului superficial de lichid sînt egale, ceea ce poate fi realizat prin asigurarea independenței celor două mișcări. Cu toate că suprafața de contact între elementele cilindrice și lichid este relativ redusă, conducția curentului este foarte bună, chiar și la tensiuni mici datorită efectului tunel. Pierderile electrice și mecanice sînt astfel menținute la nivel scăzut. Faptul că răcirea lichidului este deosebit de energică asigură contactelor alunecătoare cu lichide posibilitatea de a conduce curenți mult mai ridicați decît cei ce se obțin cu contacte convenționale, chiar și la viteze periferice foarte ridicate.

O.L.

CZ 621.3.067.9

Bloxham, D.A. și Wright, M.T., **Cuplajul de inducție ca element de acționare industrială cu viteză variabilă.** (Eddy — current coupling as an industrial, variabile — speed drive). În: Proceedings IEE, vol. **119**, nr. 8, august 1972, p. 1149—1154, 9 fig., 6 ref. bibl.

În ultimii ani, paralel cu aplicațiile semiconductoarelor în comanda directă a mașinilor electrice utilizate în tehnica acționărilor cu viteză variabilă, un loc tot mai important a fost ocupat de cuplajele electromagnetice cu pulberi magnetice sau de inducție. În special ultima categorie, prin simplitatea constructivă și siguranța sa în exploatare, s-a impus în diverse aplicații acoperind astăzi domenii foarte largi, între 1 kW și 2 MW cu game întinse de reglaj al vitezei (0,05 — 1).

Dacă problemelor cu caracter teoretic, ce apar în funcționarea unor astfel de sisteme, le-au fost acordate o serie întreagă de lucrări și articole publicate în diverse reviste, problemele practice și realizările industriale nu s-au bucurat de o prea mare popularizare. Lucrarea de față vine să umple acest gol, căutînd să prezinte ultimele realizări în domeniul cuplajelor de inducție și ale sistemelor lor de comandă.

După o explicare a principiului lor de funcționare, de definire a mărimilor specifice și a caracteristicilor electromagnetice în regim staționar, autorul prezintă diverse modele constructive. Dintre acestea, se remarcă în special cuplajele fără inele de contact, cu poli în formă de ghiară și două întrefieruri, sisteme care astăzi sînt cele mai larg utilizate. O atenție deosebită este acordată problemelor de răcire, în special pentru rotoarele imersate în apă, construite pentru puteri ridicate și temperaturi locale de ordinul a 300°C. Legat de aceste probleme termice apar probleme de deplasări mecanice și randament, probleme depășite astăzi în special în cazul ultimelor realizări.

Utilizarea unor sisteme adecvate de control permite optimizarea funcționării acestor cuplaje, comanda lor realizîndu-se prin variația curentului de excitație cu ajutorul unor punți cu tiristoare cu reacție inversă de viteză sau poziție, asigurîndu-se astfel o stabilitate maximă, oferind posibilități de reglare a vitezei de 50 : 1 cu o precizie de 0,5%, pe o plajă de 15 ÷ 100% din cuplul nominal.

Lucrarea se încheie cu cîteva exemple tipice de aplicații ale cuplajelor de inducție, în special la sincronizarea grupurilor de mașini unde reacții de viteze sau poziție prin intermediul unor selsine asigură o funcționare adecvată a sistemului.

R.M.

CZ *Mașini electrice*

CZ 621.313.1 — 26.026.441/2

Alt, R. **Echilibrarea motoarelor foarte mici** (Auswuchten bei Kleinstmotoren) În: ETZ-B, nr. 12, 1972, p. 303—307, 9 fot., 5 fig.

Cerințele crescînde privind mediul înconjurător conduc și la necesitatea reducerii cît mai mult posibile a zgomotelor produse de elementele în rotație. Un factor hotărîtor pentru funcționarea cît mai liniștită a electromotoarelor îl constituie echilibrarea rotoarelor acestora. Pentru ca realizarea echilibrării să rămînă însă în limite acceptabile din punct de vedere economic, trebuie admise anumite compromisuri în privința gradului de echilibrare și a timpului necesar acesteea. Datorită electronicii s-a reușit a se stabili mărimea

și direcția dezechilibrului în 8—14 secunde. Pentru constatarea mărimii și poziției repartizării neregulate a maselor precum și pentru corecturile necesare s-au realizat mașini speciale prezentate în fotografii și figuri. După ce se definește noțiunea de dezechilibru ca fiind $U = m.r$ (m = masa adițională într-o parte a corpului în rotație, r = raza corpului în rotație) se dă și formula VDF pentru stabilirea limitei acceptabile. Expresiile de „dezechilibru static și" „dezechilibru dinamic" sînt discutate, demonstrîndu-se ca cea de „echilibru static" bazat pe pendulație, trebuie desființată ca noțiune, deoarece la corpuri cu dilatare axială nu se mai poate face uz de gravitația pămîntului. Dilatarea axială poate fi atît de mare față de diametru, încît să facă necesară o echilibrare în 2 sau chiar mai multe planuri.

Sistemele electronice de indicare a mărimii și direcției dezechilibrului necesită marcaje (indici) pe circumferința obiectului în rotație. Aceste marcaje sînt, în funcție de sistemul utilizat, de mai multe feluri : lămpi stroboscopice, litere din alfabet, cifre, arătate toate în figuri. Echilibrarea, la rîndul ei, se realizează, de asemenea, după mai multe sisteme, în general introducînd greutăți de diferite mărimi în cavități dispuse pe un cerc în jurul axului rotorului, fie la un capăt al acestuia, fie la ambele capete. În 5 figuri sînt arătate detalii constructive. În încheiere sînt indicate condițiile puse de proiectantul motorului în privința echilibrării și ordinea în care operațiunile de echilibrare trebuie executate.

Se precizează astfel, dacă într-un caz oarecare echilibrarea este sau nu este necesară, dacă se execută într-un singur plan sau în mai multe planuri, ce precizie cere echilibrarea, ce măsuri constructive se iau la executarea rotorului în vederea controlului echilibrului. În privința preciziei necesare echilibrării aceasta depinde de la caz la caz, de exemplu : dacă piesa controlată este combinată ulterior cu un alt element într-o singură unitate rigidă, dacă rotorul — după control — este suspendat în rulmenți (care pot avea o bătaie radială de 15 μm) sau dacă urmează să acționeze un element, care permite sau chiar provoacă o dezechilibrare mai mare decît cea prescrisă de VDI pentru electromotor. Astfel ventilatoarele permit un joc de 30 μm.

Gh. C.

CZ 621.313.323.072.9

Glebov, A.I., Krasilnikov VL., Pekne, Z.V. și Sokolov, I.N. **Condensatoarele sincrone, sistemul lor de excitație și de reglaj** (Les condensateurs synchrones, leurs systèmes d'excitations et de réglage) În : Sesiunea CIGRE 1972 — 28 august — 6 septembrie.

Odată cu creșterea puterii și lungimii rețelelor de înaltă tensiune, problema controlului puterii reactive în sistem devine tot mai complexă. Printre cele mai convenabile surse de putere reactivă poate fi considerat condensatorul sincron. Condensatoarele sincrone instalate în posturile de înaltă tensiune, reduc contribuția grupurilor din centrale la producerea puterii reactive, determinînd reducerea pierderilor atît în linii cît și în generatoare, care pot funcționa la un factor de putere ridicat.

În prezent capacitatea totală de condensatoare sincrone construite anual în uzinele sovietice reprezintă 10% din puterea totală produsă cu generatoare. Se consideră că în viitor acest procent va crește. S-au construit pînă în prezent condensatoare de 15 și 30 MVA răcite cu aer, de 50, 100 și 160 MVA răcite cu hidrogen. În prezent este în construcție un condensator sincron răcit cu apă de 320 MVA. În U.R.S.S. condensatoarele sincrone sînt realizate cu poli aparenți. Pentru puterile de 15 și 30 MVA sînt realizate pentru 1000 t/min ; unitățile de puteri mai ridicate se execută pentru 750 t/min. Această reducere a vitezei conduce la reducerea solicitărilor mecanice pe rotor la un diametru mai mare cu reducerea corespunzătoare a lungimii mașinii, răcire mai ușoară, simplitate constructivă, nivel redus de vibrații și o fundație mai simplă.

Izolația barelor stator ale condensatoarelor este din bandă mica-sticlă, impregnată cu rășină termo-rigidă. Pentru condensatoarele de putere mare înfășurarea rotorului este de tip și nu ondulat, cu bare de secțiune mai importantă. Această permite reducerea lungimii capetelor de bobine, ca și a pierderilor și încălzirii. Polii sînt, în general, de construcție masivă, fără înfășurare specială de pornire. Deoarece sarcina maximă a condensatoarelor este limitată de încălzirea rotorului, s-au luat măsuri speciale de îmbunătățire a sistemului de răcire a înfășurării.

T. Ciubotaru

CZ 621.316 *Transmisia energiei electrice*

CZ 621.316.351 : 628

Halbritter, H.P. **Bare colectoare pentru instalații de iluminat.** (Stromschienen für Beleuchtungsanlagen). În : ETZ-B nr. 22, 1972, p. 568—572, 1 tab., 5 scheme, 15 fig.

În ultimii ani s-au introdus și în Europa barele colectoare în proiectarea instalațiilor de iluminat ale marilor magazine, vitrinelor etc., care necesită racorduri multiple, realizabile rapid și cu un maximum de protecție a personalului. Este vorba de sisteme de conductori mono- sau multifazați, îngropați într-un material plastic izolant și portejați în exterior cu bare de aluminiu, care înconjoară materialul plastic. Din orice punct al barelor ce pot ramifica racorduri de lămpi : (sau grupuri de lămpi), prin intermediul unor fișe de contact. Într-o tabelă sînt indicate 6 modele ale unor astfel de bare aprobate de VDE. În 5 scheme este arătat modul de racord la aceste bare pentru diferite puteri.

Primul sistem descris este „Erco" constînd dintr-o bară de aluminiu cu profil U care reprezintă protecția mecanică. Aceasta cuprinde în interior bare izolante din polietilenă, în care cu ocazia turnării s-au introdus și barele de cupru cu profil dreptunghiular, avînd o singură față liberă pentru contact. În figură sînt arătate și alte amănunte ale acestor bare colectoare cum ar fi punerea la pămînt, golurile pentru conductele izolate de alimentare a barelor sau de ramificații spre lămpi etc. Fișele de contact (numite „adapter") sînt introduse în carcase din material izolant și posedă cîte un buton de comandă cu 3 poziții necesare fixării în bare și realizării contactului electric pe faza (sau fazele) dorită. În sistemul descris barele sînt realizate în 3 lungimi diferite (1110, 2300 sau 3650 mm), ele putînd fi reduse după necesitate la locul de montaj. Un alt model de bare „Novalux" folosește pentru rezistența mecanică, în loc de bara de aluminiu (de la sistemul „Erco") o bară interioară de alamă în formă de U, care servește și pentru fixarea „adapterilor". Sînt descrise apoi barele sistem Hofmeister cu 5 conductori de cupru cu profil rotund și barele Woertz cu 3 conducători. Sistemul „Interlumen" prezintă avantajul că racordul electric între bară și derivații nu se poate realiza dacă fixarea mecanică a „adapterului" nu este perfectă. O construcție asemănătoare o prezintă modelul „Staff". Și aci, ca și la celelalte sisteme, fișa de ramificație realizează, în prealabil, contactul de protecție cu pămîntul și pe urmă contactele propriu-zise de racord. Barele descrise sînt construite toate pentru curenți de 16 A, monofazici sau trifazici.

Gh. C.

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 537.322/4 : 621.352.12

Маринеску, М.: **Новый термо-электрический эффект, установленный экспериментально**

Electrotehnica 21, 3, март 1973, стр. 89–24

Показано, что в замкнутой цепи, состоящей из полупроводника, включенного между двумя разнородными металлами, при сохранении постоянной и равномерной температуры в цепи, возникает, вопреки закону Volta и эффекту Seebeck-a, ненулевая результирующая электродвижущая сила.

Применяемое экспериментальное устройство позволяет также осуществлять температурный градиент, контролируемый вдоль цепи. При изменении направления градиента, вопреки эффекту Seebeck-a, результирующая сила не изменяет направления, что доказывает существование электродвижущей силы, независимой от температурного градиента.

ДК 621.3.014.31.001.25 : 621.316.573

Хортопан, Г. и *Трушкэ, В.:* **Математические модели электрической дуги в контакторах низкого напряжения переменного тока**

Electrotehnica 21, 3, март 1973, стр. 95–101

Приводится математическая модель, в трех вариантах, описывающая явления в гасительной камере конторов низкого напряжения переменного тока.

Эта модель имеет практическое значение т.к. позволяет определять отдаваему электрической дугой теплоту в гасительной камере и в то же время может служить для предварительного расчета гасительных камер, работающих по принципу электродного эффекта.

ДК 621.3.014.31.001.25 : 621.316.5.064.4

Сасу Мими: **Установление условий перехода отгашения к обратному зажиганию электрической дуги, описанной уравнением Майера**

Electrotehnica 21, 3, март 1973, стр. 101–108

В работе приводятся результаты проведенных автором исследований, при помощи аналоговой вычислительной машины, для установления условий, при которых может произойти переход от гасительного режима выключающей электрической дуги к режиму обратного зажигания, характерному для неудачного выключения цепи. Моделирование электрической дуги проведено на основе нелинейного дифференциального уравнения Майера.

ДК 621.313.333.1 – 566.076.2

Бурчя, Т,: **Области скоростных режимов кранового асинхронного двигателя с постоянно переменным числом оборотов**

Electrotehnica 21, 3, март 1973. стр. 109–119

Дается краткое описание применяемых в современной технике методов получения переменного числа оборотов на крановом асинхронном двигателе. В продолжение показана в плоскости *M- n* область неустановившегося режима D_{tp} этого двигателя, оснащенного устройствами для постоянного изменения сопротивления ротора и сечения статора. На этой диаграмме ограничивается, в случае подъемно-опускных механизмов, область осуществимого неустановившегося режима D_{tr} и установившегося режима скорости D_s.

Описание отнесено к системе координат Mn, связанной с постоянным пространством (статора), причем сделанные выводы и принятые уравнения универсально действительны для любого режима работы и любого кадра диаграммы *M-n*.

ДК 621.337.522

Опришор, М.: **Применение рекуперативного торможения на трамвае I.T.B. — Провинция**

Electrotehnica 21, 3, март 1973, стр. 119–127

Рассматривается возможность применения рекуперативного торможения на трамваях ITB-провинция в условиях осуществления максимальной экономичности и эффективности. Приводятся критерии выбора оптимальных величин сопровиления стабилизации.

Анализируются характеристики торможения и регулирования, соответствующие выбранным решениям.

INHALTSVERZEICHNIS

DK 537.322/4 : 621.352.12

Marinescu, M. : **Ein neuer, experimentell festgestellter thermo-elektrischer Effekt**

Electrotehnica 21, H. 3, März 1973, R. 89–94

Es wird der Beweis erbracht, dass in einem geschlossenen Kreis, bestehend aus einem Halbleiter, der zwischen zwei Metalle unterschidlicher Art eingefasst ist, bei einer konstanten und einheitlichen Temperatur, entgegen des Voltaschen Gesetzes und unterschiedlich vom Seebeck-Effekt, eine nichtnullische elektromagnetische Kraftresultierende auftritt.

Die versuchsweise angewandte Vorrichtung ermöglicht auch die Durchführung eines kontrollierten Temperaturgradients entlang des Stromkreises. Bei einer Richtungsänderung des Gradients, verändert die elektromotorische Kraftresultierende, entgegen des Seebeck-Effekts nicht die Richtung wodurch das Vorhandensein einer, vom Temperaturgradient unabhängigen elektromotorischen Kraft nachgewiesen wird.

DK 621.3.01431.001.25 : 621.316.573.

Hortopan, Gh. und *Trușcă V.* : **Mathematische Modelle eine Lichtbogens in Niederspannungskontaktgebern für Wechselstrom**

Electrotehnica 21, H. 3, März 1973, S. 95–101

In drei Varianten wird ein mathematisches Modell dargelegt, das die Erscheinungen in der Löschkammer de Niederspannungskontaktgeber für Wechselstrom beschreibt

Die Bedeutung und Nützlichkeit dieses Modells geht daraus hervor, dass die, vom Lichtbogen in der Löschkammer abgegebene Wärme bewertet werden kann. Gleichzeitig kann mit dessen Hilfe-eine Löschkammer, die nach Prinzip des Elektrodeneffekts arbeitet, vorausberechnet werden.

DK 621.3.014.31.001.25 : 621.316.5.064.4

Sasu Mimi : **Bestimmung der Übergangsbedingungen vom Löschen zum Rücksehlag eines in der Mayrgleisehung beschriebenen Lichtbogens**

Electrotehnica 21, H. 3, März 1973, S. 101–108

Die Arbeit umfasst die, vom Verfasser erzielten Unter suchungsergebnisse, die mit Hilfe eines Analogrechners im Hinblick auf die Bestimmung der Bedingungen erzielt wurden, unter denen ein Übergang von Löschvorgang eines Schaltlichtbogens zum Bogenrückschlag stattfinden kann, ein Fall, der bei einer Fehlabschaltung des Stromkreises eintritt. Dieser Lichtbogen wurde aufgrund der nichtlinearen Mayrschen Differentialgleichung modelliert.

DK 621.513.333.1 – 566.076.2

Burcea, T. : **Geschwindigkeitsbereiche des Asynchronmotors mit stufenlos veränderlichen Drehzahl für den Kranantrieb.**

Electrotehnica 21, H. 3, März 1973, S. 109–119

Der Verfasser gibt einen kurzen Überblick über die, in der modernen Technik für die Erzielung einer veränderlichen Drehzahl bei einem Asynchronmotor für Kranantrieb angewandten Verfahren. In der *M-n*-Ebene wird der mögliche nichtstationäre Betrieb D_{tp} eines solchen Motors dargelegt, der mit einer Vorrichtung zur stufenlosen Veränderung des Rotorwiderstands und des Statorabschnitts ausgerüstet ist. Auf dem gleichen Diagramm wird für den Einzelfall von Hebe-und Senkanlagen, der Bereich des realisierbaren nichtstationären Betriebs D_{tr} und des stationären Geschwindigkeitsbetriebs D_s begrenzt.

Die Beschriebung erfolgte durch die Übertragung auf ein Koordinatensystem *M-n*, in Verbindung mit dem festen Raum (des Stators), wodurch allgemein gültige Schlussfolgerungen und Gleichungen für jeden Betriebszustand und Rahmen des *M-n*-Diagramms erzielt werden.

DK 621.337.522

Oprișor, M. : **Anwendung der Nutzbremsung beim Strassenbahnwagen I.T.B.-Provinz.**

Electrotehnica 21, H. 3, März 1973, S. 119–127

Es wird die Einführungsweise der Nutzbremsung bei den Strassenbahnwagen ITB-Provinz im Hinblick auf die Erzielung einer höchstmöglichen Wirtschaftlichkeit und Effizienz analysiert. Es werden die Auswahlkriteren der Optimalwerte des Stabilisierungswiderstands dargelegt.

Abschliessens werden die Brems-und Einstellkenndaten, entsprechend der gewählten Lösung erörtert.

SOMMAIRE

CD 537.322/4 : 621.352.12

Marinescu, M. : **Un nouveau effet thermo-électrique, constate expérimentalement.**

Electrotehnica **21**, no. 3, mars 1973, p. 89–94

On démontre que dans un circuit fermé, qui consiste en un sémi-conducteur encadré entre deux métaux de nature différente, circuit maintenu à une température constante et uniforme, apparaît, contrairement à la loi de Volta, et différant de l'effet Seebeck, une force électromotrice résultante, non nulle.

Le dispositif expérimental utilisé permet aussi la réalisation d'un gradient de température, controlé tout au long du circuit. Si le sens du gradient change, contrairement à l'effet Seebeck, la force électromotrice résultante ne change pas de sens, ce qui prouve l'existence d'une force électromotrice indépendante du gradient de température.

CD 621.3.014.31.001.25 : 621.316.573

Hortopan, Gh. et *Truşcă, V.* : **Modèles mathématiques de l'arc électrique dans les contacteurs de basse tension, de courant alternatif.**

Electrotehnica **21**, no. 3, mars 1973, p. 95–101

On présente un modèle mathématique en trois variantes, qui décrit les phénomènes qui se produisent dans la chambre d'extinction des contacteurs de basse tension de courant alternatif.

Ce modèle présente de l'importance ainsi que de l'utilité étant donné qu'il permet d'apprieier la chaleur cédée par l'arc électrique dans la chambre d'extinction, pouvant servir en même temps comme instrument pour le calcul préalable des chambres d'extinction qui fonctionnent selon le principe de l'effet de l'électrode.

CD 621.3.014.31.001.25 : 621.316.5.064.4

Sasu Mimi : **La stabilité des conditions de passage de l'extinction au ré-allumage d'un arc électrique décrit par l'équation de Mayr.**

Electrotehnica **21**, no. 3, mars 1973, p. 101–108

On présents dans cet ouvrage les résultats des recherches effectuées par l'auteur, à l'aide d'un calculateur analogique, en vue d'établir les conditions dans lesquelles peut se produire le passage du régime d'extinction d'un arc électrique d'interruption, au régime de ré-allumage, caractéristique à une déconnexion non-réussie du circuit. L'arc électrique a été modélé à base de l'équation différentielle non-linéaire de Mayr.

CD 621.313.333.1 – 566.076.2

Burcea, T. : **Les domaines des régimes de vitesse du moteur asynchrone du treuil à vitesse continuellement variable.**

Electrotehnica **21**, no. 3, mars 1973, p. 109–119

On présente sommairement les méthodes utilisées dans la technique moderne pour l'obtention des vitesses variables à un moteur asynchrone pour treuil. On montre ensuite, dans le plan *M-n*, le domaine du régime transitoire possible D_{tp} d'un moteur de ce genre doté avec des dispositifs destinés à varier continuellement la résistance du rotor et de la section du stator. On délimite, sur le même diagramme, pour le cas particulier des mécanismes élévateurs et descendants, le domaine du régime transitoire réalisable D_{tr} et du régime stationnaire de vitesse D_s.

La description a été faite en se rapportant à un système de coordonnées *M-n* concernant l'espace fixe (du stator) et on est arrivé ainsi à des conclusions et à des équations universalement valables dans n'importe quel régime de fonctionnement et dans n'importe quel cadre du diagramme *M-n*.

CD 621.337.522

Oprişor, M. : **L'application du freinage à récupération au tramway I.T.B. — Province.**

Electrotehnica **21**, no. 3, mars 1973, p. 119–129

On analyse la modalité de l'introduction du freinage à récupération aux tramways I.T.B.-Province, dans les conditions de l'obtention d'une économie et d'une efficacité maxima. On présente les critères pour le choix de la valeur optima de la résistance de stabilisation.

On discute les caractéristiques de freinage et de reglage qui correspondent à la solution choisie.

Référats 127–128

OMSZÁGOS MŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS

CONTENTS

DC 537.322/4 : 621.352.12

Marinescu, M. : **A new thermoelectric effect, experimentally established.**

Electrotehnica **21**, No 3, March, 1973, p. 89–94

The author shows that in a closed circuit consisting of a semiconductor framed by two different metals, circuit maintained ata constant, unifrom temperature, it appears — contrary to the law of Volta and different from Seebeck effect — an electromotive force — a non-vanishing resultant. The experimental device used by the author permits to achieve also a temperature gradient, controlled along the circuit. When the direction of the gradient is altered, the resulting electromotive force does not change its direction, contrary to Seebeck effect. This proves the existence of an electromotive force independent from the temperature gradient.

DC 621.3.014.31.001.25 : 621.316.573

Hortopan, Gh. and *Truşcă, V.* : **Mathematical models of the electric arc in alternating current low voltage contactors.**

Electrotehnica **21**, No 3, March 1973, p. 95–101

The authors present three versions of a mathematica model describing the phenomena occurring in the blow-out chamber of alternating current low voltage contactors.

This useful model permits to assess the heat yielded by the arc in the blow-out chamber and it may be used also as an instrument for pre-calculation of blow-out chambers which are based on the electrode effect principle.

DC 621.3.014.31.001.25 : 621.316.5.064.4

Sasu Mimi. : **Setting up the conditions under which a blown-out electric arc, described by Mayr's equation, may be struck again.**

Electrotehnica **21**, No. 3, March 1973, p. 101–108

The author presents the results of the research conducted with the help of an analogue computer with the view of setting up the conditions under which a blown-out switching arc can de struck again — in case of circuit disconnection failure. The modelling of the electric arc is based on Mayr's non-linear differential equation.

DC 621.313.333.1 – 566.076.2

Burcea, T : **Speed ranges of continuously adjustable speed asynchronous motors for cranes.**

Electrotehnica **21**, No 3, March. 1973, p. 109–119

The author succinctly describes the modern methods of achieving variable speed in an asynchronous crane motor, presenting the possible transient stade range (D_{tp}) in a plane *M-n*, of such a motor fitted out with devices permitting to constantly adjust the rotor resistance and the stator section. The same diagram presents — in the particular case of hoisting — lowering mechanisms — the achievable transient stage range (D_{tr}) and the stationary speed state (D_s). The description carried out by means of a *M-n* system of coordinates linked to the fixed space of the stator, leads to conclusions and equations universally valid for any operation conditions, within any framework of diagram *M-n*.

DC 621.337.522

Oprişor, M. : **Applications of recuperative braking to I.T.B. tramcars.**

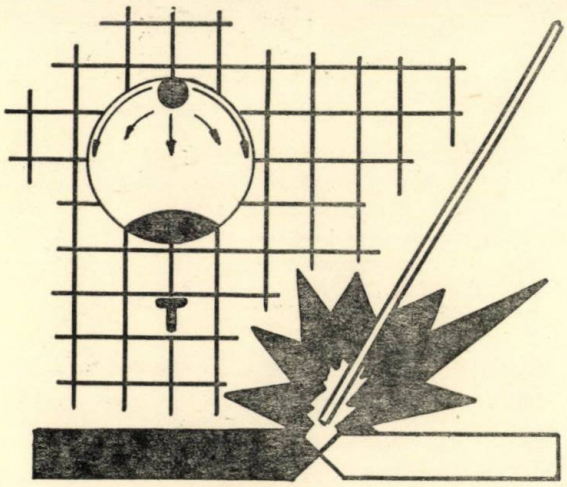
Electrotehnica **21**, No. 3 March 1973, p. 119–127

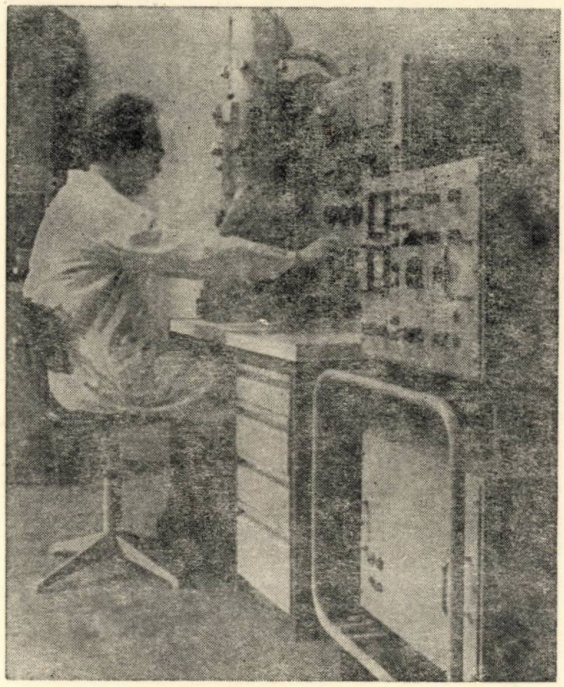
The author studies the way of applying recuperative braking to ITB tramcars, with a view to achieving maximum efficiency and cutting down expenses, presenting the criteria used in selecting the optimum stabilizing resistor. The paper discusess the braking and adjusting characteristics corresponding to the adopted solution.

Reports 127–128

M.I.C.M.— D.G.D.R.I.

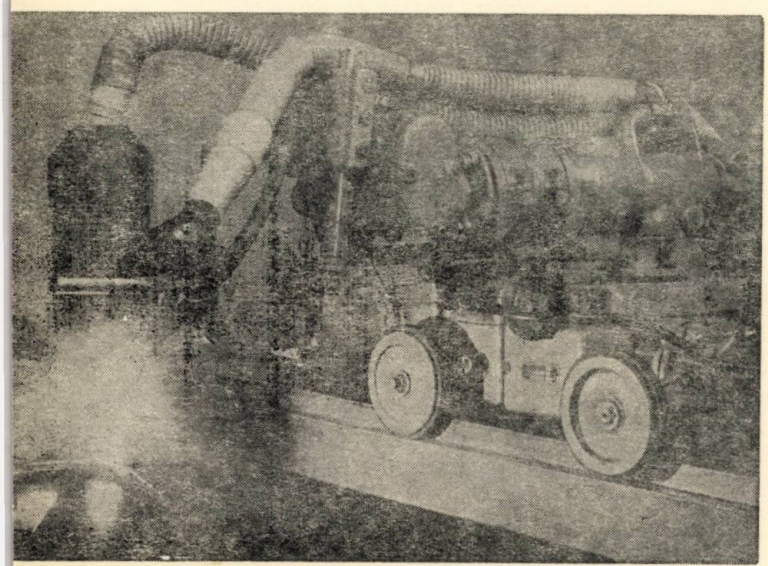
CENTRUL DE SUDURA ŞI ÎNCERCĂRI LA OBOSEALA TIMIŞOARA





EFECTUEAZĂ, PE BAZĂ DE CONTRACTE, STUDII ŞI CERCETĂRI PRIVIND:

- Tehnologii de sudare a oţelurilor
- Tăiere şi sudare cu plasmă şi microplasmă
- Dezvoltarea materialelor pentru sudare — oţeluri, electrozi, fluxuri
- Examinarea compatibilităţii la sudare (metale, materiale de adaos)
- Încercări mecanice pentru metale şi îmbinări sudate
- Control defectoscopic — ultrasonic şi magnetic
- Examinări la frecare-uzare, pentru metale şi garnituri de fricţiune
- Analize chimice — analize metalografice — optice şi electronice
- Determinări extensometrice (mecanice, optice, electrice)



ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ ŞI ORGANIZEAZĂ CURSURI DE SPECIALIZARE

TIMIŞOARA

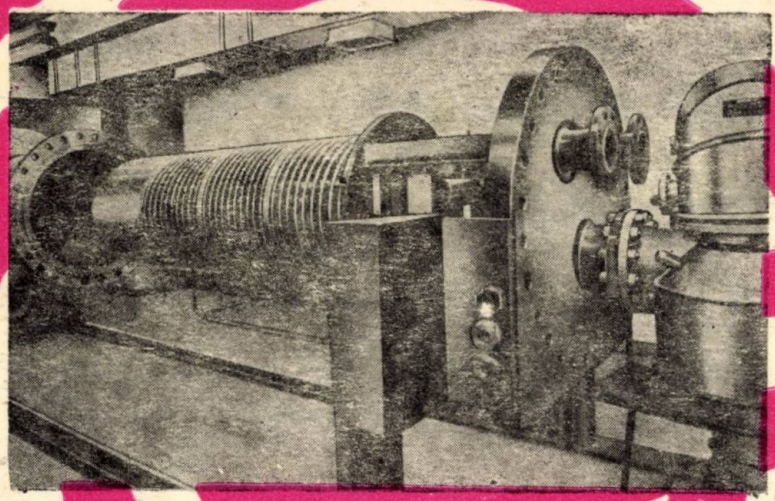
Bd. Mihai Viteazu nr. 30

Telefon 1.32.68—8.19.42

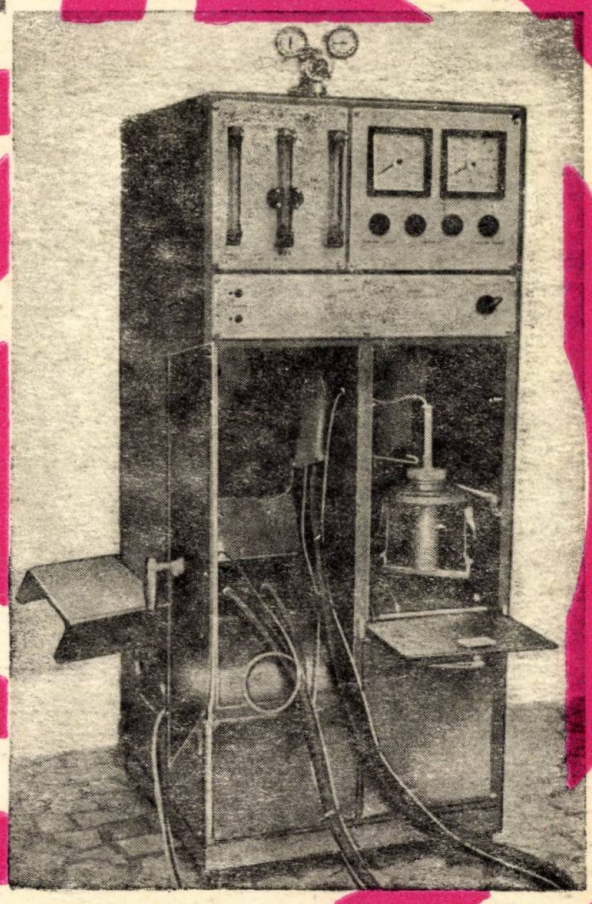
1973 JUL 1 0

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I



ICPE



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive !

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine !

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dvs., doriți standuri și metode de încercări care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele !

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite ?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 ani în activitate care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

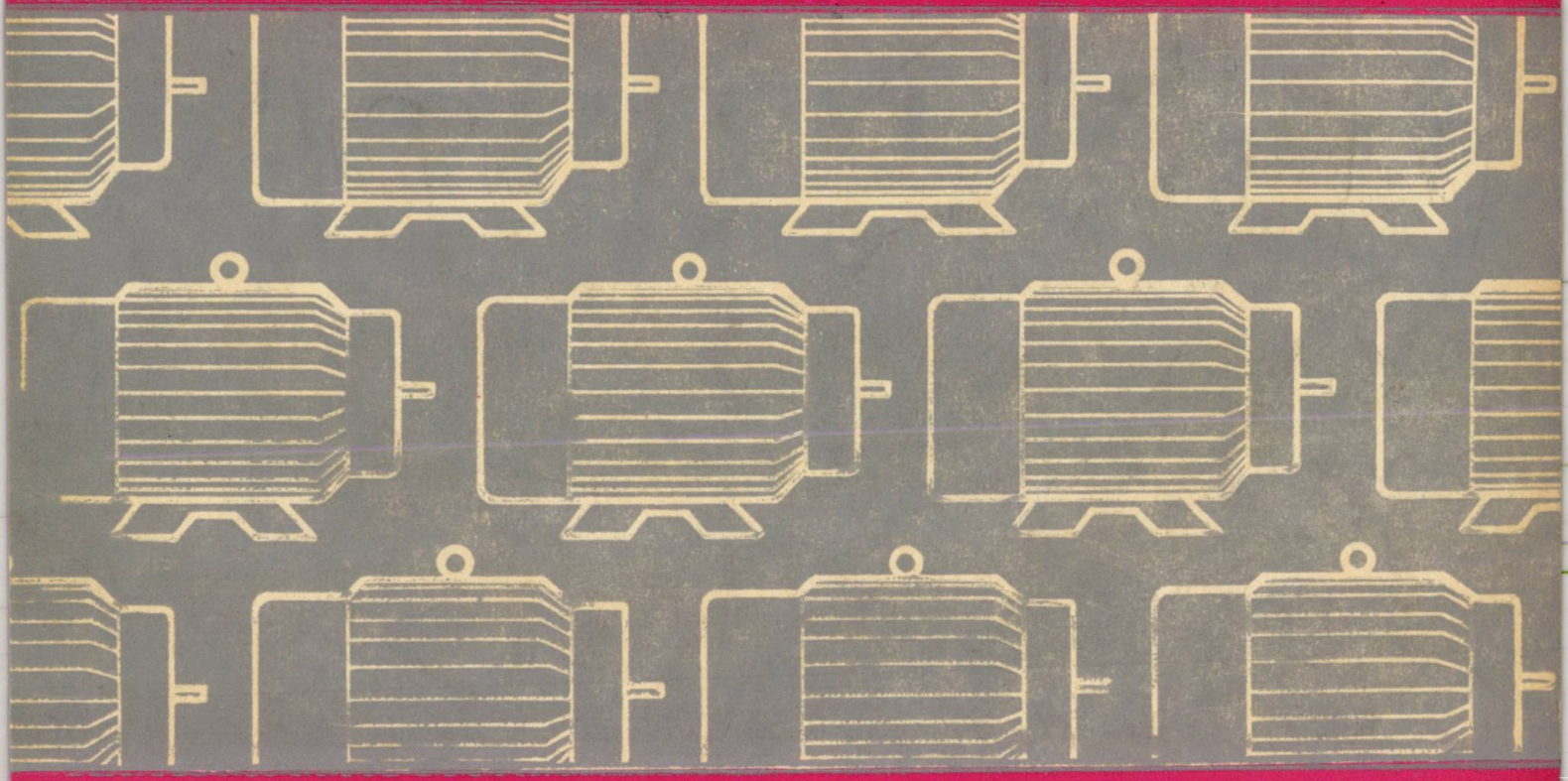
Telefonați la : 31.41.00

BUCUREŞTI BD. T. VLADIMIRESCU Nr. 45–47 Telefon 31.41.00

E 2040 R

ELECTROTEHNICA

RETRALVA

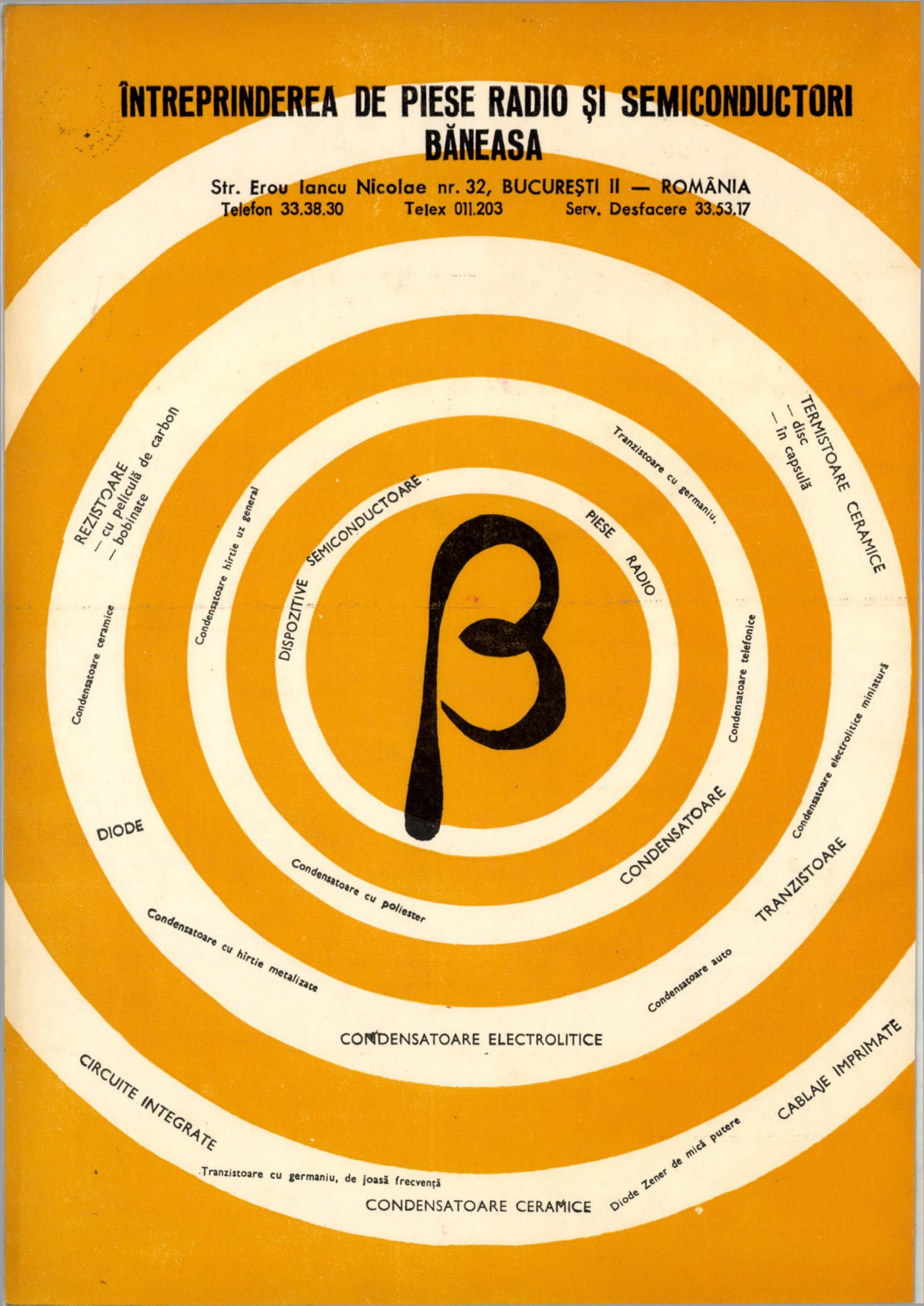


ELECTROTEHNICA ● BUCUREŞTI ● ANUL 21 ● Nr. 4 ● APRILIE 1973

4

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17



ORSZÁGOS MŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1893

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 4, pag. 129—168 aprilie 1973

CUPRINS

CZ 621.3.014 : 612.014.424

Golovanov, C. : **Efecte fiziologice ale trecerii curentului electric prin organismul uman.**

Electrotehnica **21**, nr. 4, aprilie 1973, p. 129—136

Se prezintă o sinteză asupra datelor din literatura referitoare la efectele fiziologice ale trecerii curentului electric prin organismul uman cu referire specială la fenomenul de electrocutare.

Se analizează factorii de care depinde gravitatea efectelor electrocutării. Cercetări personale asupra proprietăților electrice ale organismelor vii, un studiu succint al procesului tranzitoriu în circuitul în care este inclus corpul omenesc, rezultate experimentale din literatură precum și o analiză a statisticilor referitoare la accidentele provocate de curentul electric au permis relevarea unor concluzii utile pentru practică.

CZ 621.3.013 : 621.318.4

Șerbănescu, M. : **Modalitățile de influențare a intensității cîmpului magnetic al bobinei elicoidale masive parcursă de curent oscilatoriu amortizat.**

Electrotehnica **21**, nr. 4, aprilie 1973, p. 137—141

Se prezintă necesitatea studiului bobinei elicoidale, legat de procedeul deformării metalelor prin expansiune electromagnetică. Se stabilește expresia solenației specifice maxime, considerată ca factor primar esențial de influențare a intensității cîmpului magnetic al bobinei elicoidale parcursă de curent oscilatoriu amortizat. Se dau curbele de variație a solenației specifice maxime funcție de parametrii bobinei și ai circuitului de descărcare, pentru valori uzuale ale acestora, utile la optimizarea proiectării.

CZ 621.313.33—57

Turcu, I. și *Rusu, H.* : **Contribuții la pornirea cu accelerație controlată a motorului electric asincron.**

Electrotehnica **21**, nr. 4, aprilie 1973, p. 141—145

Se tratează pornirea cu accelerație variabilă a unui motor asincron trifazat cu inele cu ajutorul amplificatoarelor magnetice. Se deduce pe cale grafo-analitică și se confirmă experimental modul în care trebuie să se modifice curentul de comandă al amplificatoarelor magnetice în funcție de viteză pentru a obține variația dorită a cuplului motor folosind o legătură inversă de viteză de la un generator tahometric.

CZ 621.314.21.001.57 : 621.3.064.1

Pesici, M. : **Durata de viață a înfășurărilor la transformatorul destinat încercărilor de scurtcircuit.**

Electrotehnica, **21**, nr. 4, aprilie 1973, p. 145—150

Transformatorul special, destinat încercărilor de scurtcircuit are un regim termic, al înfășurărilor, deosebit. După o expunere a cauzelor care afectează izolația înfășurărilor accelerînd îmbătrînirea lor, autorul prezintă determinarea relațiilor care permit controlul acestor solicitări, în raport cu legea lui Montsinger. Formulele prezentate, se referă la pierderea procentuală din durata de viață a înfășurărilor în cursul unui scurtcircuit și după încetarea lui, pe timpul răcirii, în domeniul temperaturilor situate deasupra palierului temperaturii limite nominale. Se citează cîteva exemple de scurtcircuit cu caracter specific, cu pierderile din durata de viață care rezultă a transformatorului. Se expune o diagramă din care se deduce ponderea elementelor care influențează aceste pierderi.

CZ.621.335 : 625.282—83

Negreanu, A. : **Sporirea posibilităților de utilizare a materialului rulant electric prin slăbirea cîmpului inductor.**

Electrotehnica **21**, nr. 4, aprilie 1973, p. 151—155

PENTRU TÎNĂRUL INGINER

CZ 621.313.322—82

Opaschi, M. : **Determinarea dimensiunilor principale ale momentului de volan și a numărului de spire pe faza optimă pentru hidrogeneratoarele verticale sincrone.**

Electrotehnica **21**, nr. 4, aprilie 1973, p. 156—163

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE 163
RECENZII 165
REFERATE 167

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLAȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LAZAROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director : 14.62.67. Redacția : București, str. Mândinești nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, *c. 2644 Taxele poștale pentru anul 1973 plătite în cont-avans conform aprobării D.P.D.P. nr.* 137/10078/1972

41 400

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI-UNELTE ŞI ELECTROTEHNICII ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ÎNDRUMAREA ŞTIINŢIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 Nr. 4 Bucureşti, aprilie 1973

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁRES DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONTJA 1883

Efecte fiziologice ale trecerii curentului electric prin organismul uman

CARMEN GOLOVANOV * — Bucureşti

CZ 621.3.014:621.014.424

1. Introducere

Dezvoltarea societăţii moderne este condiţionată într-o însemnată măsură de gradul de utilizare a energiei electrice în cele mai variate domenii de activitate. În etapa actuală, consumul de energie electrică constituie unul dintre cei mai importanţi indicatori în aprecierea nivelului de dezvoltare economică a unei ţări.

În condiţiile creşterii vertiginoase a producerii energiei electrice şi a puterilor instalate ale grupurilor şi centralelor, a extinderii tracţiunii electrice, a mijloacelor de telecomunicaţii, a automatizărilor complexe ale proceselor industriale, a utilizării aparatelor electrocasnice de înaltă tehnicitate, este evidentă necesitatea cunoaşterii gradului de periclitate pe care îl prezintă curentul electric pentru organismul uman. Cercetările efectuate în ultimii ani asupra efectelor trecerii curentului electric prin organismul uman, cu referire specială la fenomenul de electrocutare, au condus la interesante concluzii publicate în lucrările specialiştilor din domeniul securităţii în instalaţiile electrice.

Articolul îşi propune o sinteză în acest domeniu coroborată cu prezentarea unor date experimentale personale asupra proprietăţilor electrice ale organismelor vii.

2. Proprietăţi electrice ale organismelor vii

Studierea aprofundată a proceselor electrice în ţesuturile vii a evidenţiat caracterul complex al dependenţei parametrilor acestor medii conductoare de o multitudine de factori fizici şi fenomene biofizice corelate.

La trecerea prin organismul uman a unui curent alternativ de o anumită frecvenţă (din domeniul frecvenţelor joase şi medii) s-a constatat prezenţa nu numai a unei rezistenţe pure dar şi a unei reactanţe capacitive determinată de constituenţii de bază ai ţesuturilor, în principal de apă, care are o constantă dielectrică mare, ceea ce impune utilizarea noţiunii de impedanţă electrică [1].

Măsurile efectuate în curent alternativ de frecvenţă înaltă au condus la o constatare de mare utilitate teoretică şi practică: organele interne prezintă o rezistenţă electrică pură, iar componenta capacitivă a impedanţei electrice a organismului uman este condiţionată, după afirmaţiile unor cercetători, în principal de piele.

Literatura de specialitate relevă că modificări ale rezistenţei electrice se produc nu numai în funcţie de valoarea tensiunii aplicate, de frecvenţa şi intensitatea curentului explorator, dar şi sub acţiunea unor stimuli externi care provoacă o senzaţie dureroasă, în stări emoţionale sau patologice. (Încă din 1879 sînt puse în evidenţă de către Vigouroux) modificări ale unui curent transcutanat sub influenţa unei concentrări psihice) [10, 11].

Lucrările lui Freiberger [11] evidenţiază caracterul neliniar al dependenţei rezistenţei electrice de tensiunea aplicată (fig. 1).

Valoarea rezistenţei electrice este dependentă de potenţialele biologice. La baza funcţiei fiecărui organ se află procese biochimice-metabolice care furnizează energia necesară existenţei şi activităţii fiecărei celule în parte. Marea majoritate a celulelor au membrana polarizată în repaus, suprafaţa interioară (endocelulară) fiind negativă, iar suprafaţa exterioară, pozitivă. Potenţialul de membrană îşi are originea în asimetria ionică dintre exteriorul şi interiorul celulei şi în permeabilitatea ionică selectivă a membranei celulare.

Un excitant electric exterior determină creşterea permeabilităţii membranei faţă de Na^-,

* Ing. *Carmen Golovanov* este şef de lucrări la Catedra de măsuri şi aparate electrice din I.P.B.

care în repaus este foarte redusă. Prin modificarea concentraţiei ionice, generată de acţiunea unui biocurent, variază evident conductibilitatea electrică a ţesutului.

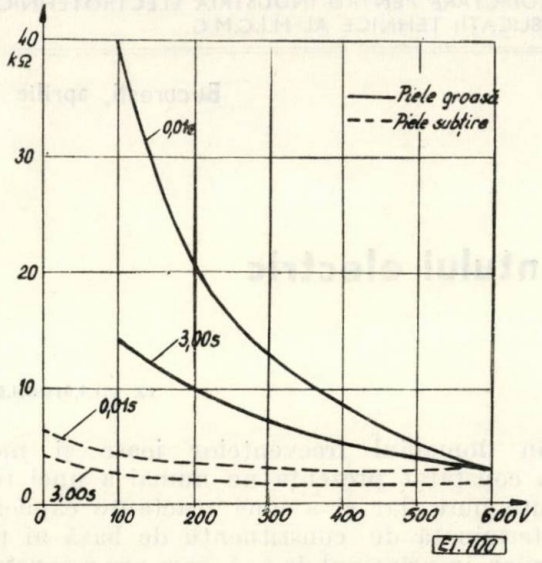


Fig. 1. Rezistenţa electrică a organismului uman în funcţie de tensiune şi de durata de acţiune.

Valorile rezistenţei electrice depind de gradul activităţii glandelor sudoripare, de vascularizaţie, de grosimea stratului cornos. Înregistrările valorice ale rezistenţei electrice pe aceeaşi regiune anatomică diferă de la individ la individ şi chiar la aceeaşi persoană se modifică în decursul timpului. Aceste variaţii pot fi : rapide, reprezentînd fluctuaţii de ordinul ohmilor, generate îndeosebi de puls ; relativ lente, reprezentînd o scădere valorică de sute de ohmi sau kiloohmi, cu o durată de cîteva secunde, (modificări cunoscute sub denumirea de efect Féré-Véragouth sau reflex psiho-galvanic, reprezentînd un test al reactivităţii psiho-vegetative) şi lente, cu caracter continuu, mai puţin ample, dependente de starea de vigilenţă, de temperatură, de reacţii vasomotoare etc.

Experienţe pentru investigarea valorii numerice a rezistenţei electrice a organismului uman au fost iniţiate încă la sfîrşitul secolului trecut Pentru explorare a fost utilizat atît curentul continuu cît şi curentul alternativ.

În cazul explorării în curent alternativ în ţesuturile vii investigate apare fenomenul de polarizare sub următoarele aspecte :

a) — polarizarea ionică, care constă în deplasarea limitată sub acţiunea cîmpului electric a ionilor ce determină inducerea de momente electrice temporare ;

b) — polarizare dipolică, care constă în orientarea axelor electrice ale moleculelor polare paralel cu direcţia cîmpului electric ;

c) — polarizare interfacială între straturi, care se produce datorită neomogenităţii structurale a ţesuturilor vii, evidenţiată îndeosebi în domeniul frecvenţelor relativ joase.

Problemele legate de alegerea unei metode adecvate de măsurare, a adoptării unei frecvenţe optime a curentului alternativ, a electrozilor de explorare, sînt larg dezbătute în literatură [1, 2, 3, 4] şi nu se va insista asupra lor. Menţionăm, pe lîngă aparatele construite destinate acestui scop, două realizări ale cercetătorilor români, care constituie obiectul unor brevete de invenţie [8,9].

Se vor prezenta date experimentale obţinute pe un lot de 478 persoane în condiţii de repaus fizic şi de relaxare, pentru evitarea influenţelor reflexelor electrodermale asupra măsurărilor. Rezultatele au fost prelucrate pe baza utilizării următorilor indici statistici :

1. media aritmetică simplă $\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{N}$ în care, Σx_i este suma tuturor variantelor din şirul studiat, N — numărul total de măsurători ;

2. abaterea standard $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (x_i - \bar{x})^2 f}{N - 1}}$, în care, f_i este frecvenţa (numărul de cazuri care au prezentat aceeaşi valoare a parametrului investigat) ;

3. intervalul de încredere pentru prag de semnificaţie ($p = 0{,}01$ şi $0{,}05$) $\overline{X} = \bar{x} \pm \mu t$, în care μ, este eroarea standard (eroarea medie a mediei aritmetice) $\mu = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$,

t — parametru care se determină în tabelul de distribuţie în funcţie de numărul de observaţii şi probabilitatea cerută.

Pentru $p = 0{,}05$ şi $p = 0{,}01$ rezultă

$$\overline{X} = \bar{x} \pm 1{,}96 \ \mu \quad \text{şi}$$

$$\overline{X} = \bar{x} \pm 2{,}58 \ \mu ;$$

S-au măsurat rezistenţele electrice în aşanumitele „puncte active" care corespund cu punctele utilizate în stimuloterapia cutanată prin acupunctură, precum şi în „zone indiferente" situate pe cap, torace, mînă şi picior, care au servit ca medii de comparaţie. S-au utilizat electrozi de concepţie originală (electrodul explorator avînd suprafaţa de 1 mm², prevăzut cu resort pentru asigurarea unei presiuni constante în timpul măsurătorilor), conectaţi la aparatul pentru explorări electrodermale complexe. În tabelul nr. 1 se prezintă : valorile medii ale rezistenţei electrice în $k\ \Omega(\bar{x})$; modulul cu frecvenţa cea mai mare (x_0) ; intervalul de încredere, la prag de semnificaţie 0,05 şi 0,01 şi intervalul de distribuţie, la prag de semnificaţie 0,05 şi 0,01.

Tabela nr. 1

Punctul	$\bar{x}$	x_0	σ	$\bar{x} \pm 1{,}96\mu$	$\bar{x} \pm 2{,}58\mu$	$\bar{x} \pm 1{,}96\sigma$	$\bar{x} \pm 2{,}58\sigma$
1	119,18	110	±9,8	118,02—120,06	118,02—120,33	99,58—138,78	93,89—138,78
2	121,09	120	±18,68	119,41—122,76	118,87—123,31	93,73—138,07	73,11—169,07
3	59,24	60	±17,21	57,79—60,78	57,22—61,25	24,82—93,66	14,74—103,70
4	96,56	90	±15,62	95,16—97,96	94,71—98,40	65,32—127,80	56,11—137,01
5	85,81	80	±13,26	84,65—86,96	84,24—87,37	59,29—114,33	51,60—120,02
6	82,87	70	±11,13	81,81—83,93	81,44—84,30	60,61—105,13	25,15—140,59
7	88,35	80	±10,19	81,85 83,89	87,15—89,55	67,97—108,73	35,77—140,93
8	82,00	70	±16,03	80,35—83,64	80,03—83,96	49,94—114,06	40,52 123,48
9	81,06	80	±18,34	78,41—82,70	78,89—83,22	44,38—117,74	34,66—128,46
10	77,64	80	±17,05	76,11—79,16	75,62—79,65	43,54—111,44	33,63—121,65
11	68,24	60	±13,74	65,00—67,47	64,61—67,86	40,80—95,68	31,35—105,13
12	67,31	60	±13,26	66,15—68,46	66,74—68,87	40,79—93,83	33,10—101,52
13	76,15	70	±11,91	75,08—77,22	74,66—77,64	53,33—99,92	45,36—106,94
14	56,40	60	±17,40	54,83—57,96	54,37—58,42	21,60—91,20	11,45—101,35
15	62,39	50	±11,91	61,32—63,46	60,90—63,88	38,51—85,21	21,60—93,18
frunte (F)	553,28	400	±33,60	550,18—556,37	549,29—557,26	486,08—620,48	471,53—635,03
mînă (M)	601,80	600	±51,50	597,77—606,42	595,70—607,89	498,80—704,80	468,95—734,75
torace (T)	466,20	400	±28,89	463,51—468,88	462,67—469,72	408,44—524,00	331,60—540,80
picior (P)	654,52	600	±44,20	650,56—668,47	649,30—659,74	566,12—742,92	440,60—768,42

În figura 2 sînt prezentate valorile medii pentru punctele investigate şi limitele intervalului de variaţie pentru 95% din cazurile explorate.

Din tabelul nr. 1 şi din graficul prezentat se relevă o concluzie de mare însemnătate practică: punctele active de pe suprafaţa corpului prezintă valori ale rezistenţelor electrice mult mai scăzute decît cele ale zonelor neutre. Dintre punctele active, valorile cele mai mici de rezistenţă electrică le prezintă cele situate pe craniu. Astfel se explică constatarea făcută în urma unei analize a accidentelor efectuată în U.R.S.S. [11] că în numeroase cazuri de electrocutare a avut loc o atingere accidentală a elementelor sub tensiune în punctele de mare sensibilitate nervoasă (aşa numitele „puncte active" utilizate în stimuloterapia cutanată prin acupunctură).

Utilizîndu-se acelaşi aparat de explorări complexe [9] am investigat capacitatea electrică în punctele electro-dermice (active) şi zone indiferente. În graficul din figura 3 se prezintă valorile medii ale capacităţii pentru punctele

explorate şi limitele de variaţie pentru 95% din cazuri (fig. 3). Se constată valori mult mai mari de capacitate pentru punctele active (de ordinul zecimilor de μF) comparativ cu tegumentul învecinat.

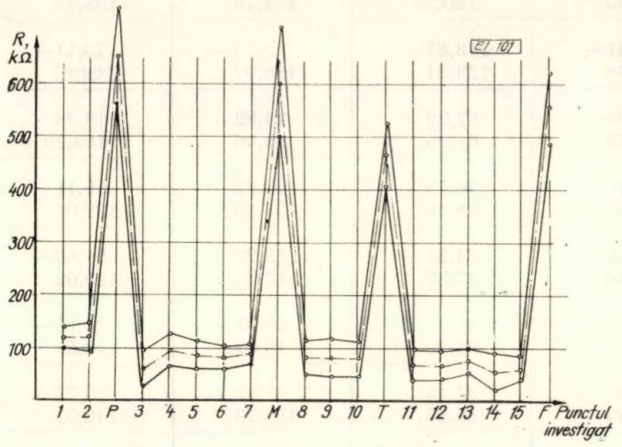


Fig. 2. Valorile rezistenţei electrice în diferite zone ale organismului uman

Reprezentarea corectă a dielectricului, considerat ca fiind constituit din învelişurile pielii, nu a fost încă rezolvată datorită multitudinii parametrilor care intervin. Cu atît mai dificilă apare, deci, modelarea unui circuit echivalent organismului viu, care să reproducă cît mai fidel caracteristicile funcţionale ale corpului uman ca element al unui circuit electric şi care să permită în acelaşi timp determinarea valorilor numerice ale impedanţei electrice. Ţesuturile vii reprezintă, din punct de vedere electric, conductoare complexe

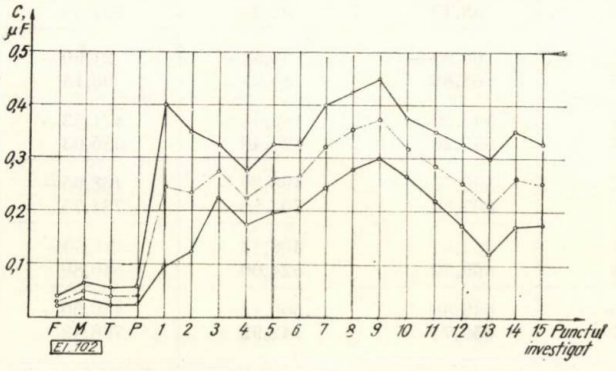


Fig. 3. Valorile capacităţii electrice în diferite regiuni anatomice ale organismului uman.

chiar şi fără a lua în consideraţie factorul biologic, datorită fenomenelor electrochimice care se petrec în mediile hidroelectrolitice ce intră în componenţa lor. Variante de circuite echivalente ale organismului viu întîlnite în literatură sînt numeroase. În figura 4 se reprezintă patru dintre acestea.

Pentru detaliile proceselor fizice şi fiziologice, care se desfăşoară în organism la trecerea unui curent electric, s-a dezvoltat o teorie bazată pe schema elaborată de Freiberger (fig. 5).

Conform schemei, impedanţa organismului se compune din rezistenţele periferice ale pielii R_{p_1} şi R_{p_2} în paralel cu capacităţile dielec-

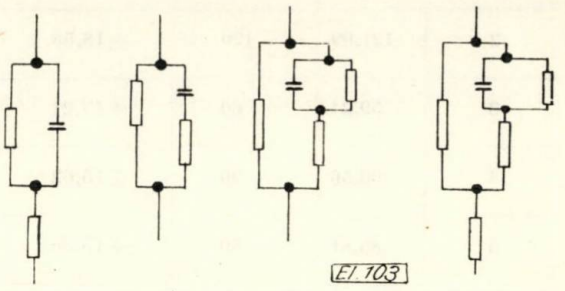


Fig. 4. Circuite echivalente ale organismului uman.

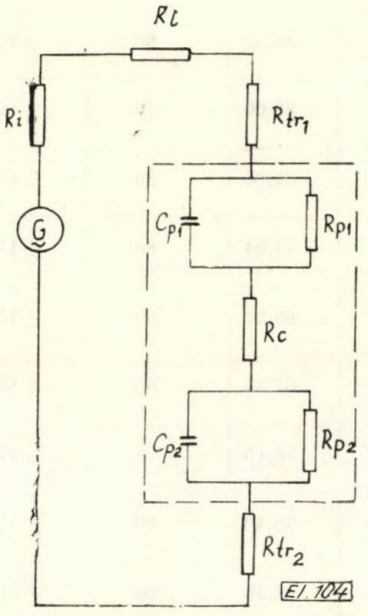


Fig. 5. Circuitul echivalent propus de Freiberger pentru organismul uman :

R_i — rezistenţa interioară a sursei de energie ; R_l — rezistenţa conductoarelor de conexiuni ; R_{p_1}, R_{p_2} — rezistenţele periferice ale pielii ; C_{p_1}, C_{p_2} — capacităţile dielectricului reprezentat de piele ; R_{tr_1}, R_{tr_2} — rezistenţele de contact ; R_c — rezistenţa internă a corpului.

tricului reprezentat de piele C_{p_1} şi C_{p_2} şi din rezistenţa internă a corpului R_c. Valorile rezistenţelor de contact (trecere) R_{tr_1} şi R_{tr_2}, în punctele de atingere a corpului cu elementele sub tensiune, depind de mărimea suprafeţei de contact şi de presiunea de contact.

În aprecierea calitativă a proceselor produse de trecerea curentului electric prin corpul omenesc se porneşte de la următoarele premise :

a) schema echivalentă adoptată se consideră un circuit electric cu parametrii concentraţi (deoarece complexitatea structurală a organismului nu permite, la nivelul cunoştinţelor actuale, aprecierea distribuţiei volumetrice a curentului) ;

b) în expresiile de calcul, parametrii schemelor echivalente se consideră într-o primă aproximaţie lineari ;

c) nu se ia în considerație influența biopotențialelor.

Se va studia succint procesul tranzitoriu în circuitul care include organismul viu, deoarece prezintă o mare importanță determinarea în aceste condiții a intensității curentului electric care produce o excitație, precum și a relației dintre valoarea intensității curentului electric de excitație și durata sa, pentru prescrierea normelor de tehnica securității (aceasta deoarece în cazul unui accident electric organismul uman nu este supus unei tensiuni care crește lent ca în cazul experimentărilor de laborator pentru determinarea valorilor limită ale curenților de excitație). Schema de studiu al regimului tranzitoriu este reprezentată în figura 6.

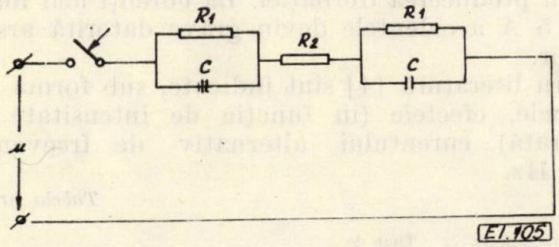


Fig. 6. Schemele de studiu al regimului tranzitoriu :
R_1 – rezistența electrică a pielii ; R_2 – rezistența electrică a țesuturilor interne ; C – capacitatea pielii între suprafața electrodului și țesutul muscular.

Dacă tensiunea aplicată circuitului este de forma :

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \alpha), \tag{1}$$

curentul în regimul tranzitoriu în domeniul imagine al transformatei Laplace va avea expresia :

$$i(p) = \frac{1}{p} U_m \frac{(p^2 \sin\alpha + p\omega\cos\alpha)(pCR_1 + 1)}{(p^2+\omega^2)(pCR_1R_2 + 2R_2 + R_1)} = \frac{1}{p} U_m \frac{M(p)}{N(p)}. \tag{2}$$

În domeniul real al timpului rezultă :

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + \frac{M(p_1)}{pN'(p_1)} e^{p_1 t}, \tag{3}$$

în care :

$$I_m = \frac{U_m}{Z}, \tag{4}$$

$$Z = \sqrt{\left[R_2 + \frac{2R_1}{(1 + R_1\omega C)^2}\right]^2 + \left[\frac{2R_1^2\omega C}{1 + (R_1\omega C)^2}\right]^2}, \tag{5}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = -\frac{2R_1^2\omega C}{2R_1 + R_2[1 + (R_1\omega C)^2]}, \tag{6}$$

$$p_1 = -\frac{2R_1 + R_2}{CR_1R_2}. \tag{7}$$

Pentru obținerea valorii intensității curentului în regim tranzitoriu este necesar să se cunoască parametrii care intervin în schema echivalentă. În [11] se indică o metodă pentru determinarea valorilor parametrilor R_1 și C. (Rezistența țesuturilor interne R_2 măsurată de diverși cercetători este de aproximativ 500 Ω pentru electrozi cu o suprafață de 100 cm²).

Se oscilografiază tensiunea aplicată între doi electrozi dispuși pe corp și curentul, și se determină defazajul φ. Măsurările se fac la o tensiune sinusoidală de frecvență industrială. C și R_1 se calculează cu relațiile :

$$C = \frac{2\tau(1 - \omega\tau\operatorname{ctg}\varphi)}{R_2[1 + (A - \operatorname{ctg}\varphi)^2]}, \tag{8}$$

$$R_1 = \frac{-R_2[1 + (A - \operatorname{ctg}\varphi)^2]}{2\omega\tau A}, \tag{9}$$

unde, $A = \omega\tau\varepsilon + \operatorname{ctg}\varphi$ (10) și τ este constanta de timp a circuitului studiat.

Studiul regimului tranzitoriu permite aprecierea valorii periculoase pentru om a timpului de acțiune a curentului.

Dalziel [19] indică următoarea relație între intensitatea curentului electric I care poate fi suportat de organism fără apariția unui pericol și timpul său de acțiune t :

$$I = \frac{0{,}165}{\sqrt{t}}, \tag{11}$$

Coeficientul 0,165 a fost determinat pe cale experimentală.

3. Efectele fiziologice ale trecerii curentului electric prin organismul uman

Pentru a se evidenția consecințele unei electrocutări este necesar să se distingă :

— acțiunea directă a curentului electric și urmările indirecte, ca de exemplu : arsuri datorate arcului electric, leziuni oculare datorate radiațiilor, afectarea organelor auditive prin explozie.

Trecerea prin organism a curentului electric este însoțită de :

a) acțiunea specifică de declanșare a crispării musculaturii aparatului locomotor, fibrilația ventriculară, chiar oprirea contracțiilor cardiace, eventual starea de electroșoc ;

b) acțiunea termoelectrică, care constă în degajarea prin efect Joule Lenz a unei cantități de căldură ce produce leziuni țesuturilor (piele, musculatură, sistem osos, trasee nervoase), ca și tulburări de natură umorală ;

c) acțiunea electrochimică, care produce fenomene de electroliză a sîngelui ;

d) acţiunea electrodinamică observabilă în cazul exploziilor sau al accidentelor cauzate de înalta tensiune (căderi de la mare înălţime care produc comoţii cerebrale etc.).

Aspectul cel mai important se referă la acţiunea curentului electric asupra inimii. Tulburările cardiace declanşate de trecerea curentului electric prin organism depind de următorii parametri ai acestuia: intensitatea, durată de acţiune, caracter (continuu sau alternativ). La adultul normal inima se contractă de 60—70 ori pe minut, asigurînd circulaţia sîngelui în întreg organismul.

Dacă intensitatea curentului depăşeşte anumite limite (între 50 mA şi 5A) apare fibrilaţia ventriculară (contracţiile şi destinderile fibrelor musculare ale cordului se produc rapid şi dezordonat). Pulsul devine de 400 — 600 bătăi pe minut şi în aceste condiţii inima nu mai poate imprima nici un impuls sîngelui, deci încetează funcţia sa vitală. Funcţionarea inimii se poate compara cu o pompă de aspiraţie şi compresiune. Dacă cursele pistonului devin foarte scurte, deşi frecvente, acţiunea de aspirare-compresie încetează. Starea de sincopă cardiacă este totdeauna foarte gravă; ea nu se va putea prelungi fără a duce la moarte.

Funcţiile cardiace şi respiratorii sînt strîns legate una de cealaltă, avînd rolul de a oxigena şi a asigura vitalitatea tuturor celulelor corpului. Electrocutarea poate cauza fie o încetare a funcţiei respiratorii, fie o oprire circulatorie, sau în cazul cel mai grav poate determina ambele consecinţe. Dacă nu va avea loc schimbul de gaze la nivelul plămînilor (fig. 7), sîngele va avea un conţinut sporit de CO_2 determinînd paralizia funcţiilor creierului, organul cel mai sensibil la lipsa oxigenului. Se relevă deci direcţiile în care este indispensabil să se desfăşoare reanimarea: restabilirea imediată a respiraţiei şi a circulaţiei sîngelui.

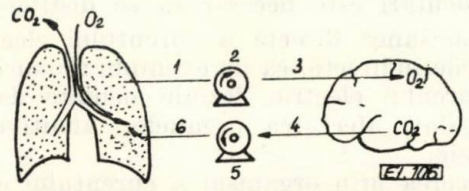


Fig. 7. Schimbul de O_2 şi CO_2 în plămîn şi în creier:
1 — vene pulmonare; *2* — auricul şi ventricul stîng; *3* — reţea de artere
4 — reţea de vene; *5* — auricul şi ventricul drept; *6* — artere pulmonare

Gravitatea efectelor electrocutării depinde de următorii factori:

a) valoarea intensităţii curentului electric care s-a stabilit prin circuitul în care este organismul;

b) frecvenţa curentului;

c) durata acţiunii curentului;

d) calea de închidere a curentului electric;

e) mediul ambiant.

Intensitatea curentului electric

În tehnica securităţii la instalaţiile electrice, în vederea unei dimensionări a mijloacelor de protecţie, este necesar să se pornească de la valori admisibile ale curenţilor, prescrise pe baza unor prelucrări statistice ale datelor rezultate din experienţe, precum şi din concluziile cazurilor de accidente. Curentul maxim admisibil prin corpul omenesc în cazul celui alternativ de 50 Hz este de 10 mA şi de 50 mA pentru curentul continuu. Între 10 şi 50 mA curent alternativ, omul nu se mai poate elibera singur de sub acţiunea curentului electric din cauza crispării musculaturii aparatului locomotor, care nu permite desprinderea de elementul sub tensiune atins. La valori peste 50 mA poate surveni moartea accidentatului, prin producerea fibrilaţiei. La curenţi mai mari de 5 A accidentele devin grave datorită arsurilor.

În literatură [4] sînt indicate, sub formă de tabele, efectele (în funcţie de intensitate şi durată) curentului alternativ de frecvenţă 50 Hz.

Tabela nr. 2

Intensitate (mA)	Timp de acţiune [s]	Efecte (fenomene fiziologice produse)
25	nedefinit	— creşterea uşoară a presiunii sîngelui — uşoară tetanizare a muşchilor respiratorii — nu se semnalează urmări vătămătoare pentru sistemul circulator şi inimă
25—80	$\leqslant$ (25—30)	— creşterea presiunii sîngelui — dereglarea respiraţiei — oprirea momentană a inimii avînd ca urmare o neregularitate ulterioară a pulsului
	$\geqslant$(25—30)	— trecerea la fibrilaţia ventriculară
80—5000	0,1— 0,3	— fibrilaţia ireversibilă a inimii
5000—8000	nedefinit	— arsuri — creşterea presiunii sîngelui

Cercetătorii germani Estorff şi Weber [16] indică următorul tabel asupra efectelor curenţilor alternativi la 50 Hz asupra corpului omenesc (tab. 3).

După Borkmann, Koeppen şi Leggemann [16], suita efectelor este cea din tabelul 4.

În general, observaţiile cercetătorilor din diferite ţări concordă. Unii autori americani indică valorile intensităţii curentului la care omul se mai poate desprinde singur de obiectele sub tensiune atinse: în curent continuu — 76 mA şi în curent alternativ de 60 Hz — 16 mA [14].

Tabela nr. 3

Intensitatea mA	Efectul
0,9	insensibil
0,9—1,2	senzaţii numai în punctele de atingere a pieselor sub tensiune
1,2—1,6	senzaţie de amorţire a mîinii
1,6—2,2	amorţeşte mîna
2,2—2,8	uşoară stingherealã a mişcărilor mîinii
3,5—4,5	oboseală în antebraţ
4,5—5,5	dureri în antebraţ
5,0—7,0	dureri uşoare în braţ
6,0—8,0	senzaţii dureroase, desprindere anevoioasă de elementul aflat sub tensiune
8,0—9,5	dureri în braţ
10—15	dureri abia suportabile, desprinderea de elementul aflat sub tensiune se face cu mare efort
15—20	desprinderea nu se mai poate face cu forţe proprii

Tabela nr. 4

Intensitatea mA	Efectul
0,01—1,0	slabe contracţii musculare în degete; creşterea presiunii sîngelui în funcţie de intensitatea curentului
1,0—5,0	comoţii nervoase în degete şi pînă în antebraţ; fără repercusiuni asupra inimii
5,0—15	desprinderea de piesele sub tensiune greu posibilă
15—20	nu mai este posibilă desprinderea cu forţe proprii de piesele aflate sub tensiune

Desigur există excepţii care nu se încadrează în limitele indicate. Un rol deosebit de important îl prezintă starea fizică a omului: oboseala, astenia nervoasă, afecţiunile cardiace determină o sensibilitate mai mare a organismului la atingerea obiectelor aflate sub tensiune.

În tehnica securităţii în instalaţiile electrice din motive practice, este mai indicat să se determine valorile limită pentru tensiunea la care este supus organismul în cazul unui accident, decît pentru intensitatea curentului electric care se stabileşte prin corpul omului (se concepe mai simplu un mijloc de protecţie pornind de la tensiune, asupra căreia se poate acţiona direct).

Încercările de determinare a unei limite superioare a tensiunilor nepericuloase nu au dat rezultate. Deşi mult timp tensiunile de 12 sau 24 V au fost considerate inofensive, în statistici recente se indică un număr însemnat de cazuri de electrocutare chiar sub aceste valori. Totuşi, practica necesitînd adoptarea unor valori limită ale tensiunilor de la care să se pornească în executarea protecţiei, a impus stabilirea unor valori maxime admisibile în funcţie de condiţiile concrete de exploatare, de tipul echipament, etc.

În ţara noastră [12] sînt stabilite trei categorii de tensiuni maxime admisibile:

— tensiuni de lucru maxime admisibile pentru alimentarea sculelor electrice portative şi a corpurilor de iluminat;

— tensiuni maxime admisibile de atingere şi de pas;

— tensiuni maxime admisibile induse datorate influenţelor electromagnetice.

Frecvenţa curentului

Curentul continuu este mai puţin periculos decît curentul alternativ de frecvenţă industrială. Numărul de accidente mortale în curent continuu, în conformitate cu datele furnizate de statisticile internaţionale, este redus. Experienţe numeroase au stabilit că maximul de efect dăunător, la o aceeaşi intensitate a curentului alternativ îl produc curenţii de frecvenţă 40—60 Hz [11]. La frecvenţe foarte înalte pericolul de electrocutare este mai mic. Totuşi se pot produce arsuri cu consecinţe grave.

În literatură se indică numeroase cazuri de accidente produse de atingerea unor obiecte metalice care aparent nu păreau sub tensiune, semnalate pe şantierele aflate în apropierea posturilor de emisie radio. (De fapt aceste obiecte metalice: macarale înalte, stîlpi, etc. devenind practic antene, se aflau sub tensiuni induse de înaltă frecvenţă).

Durata acţiunii curentului

Timpul de trecere a curentului electric prin organism are o deosebită importanţă, fiind dintre factorii care influenţează rezistenţa electrică a corpului. Cu cît durata de acţiune a curentului este mai mare, cu atît rezistenţa scade (fig. 1). Conform rezultatelor unor cercetători [17] s-ar putea considera că în cazul curentului alternativ de frecvenţă industrială (40—60 Hz) valorile la care se produce fibrilaţia inimii sînt invers proporţionale cu rădăcina patrată a timpului de acţiune asupra organismului (tab. 5).

Tabela nr. 5

Valorile limită peste care se produce fibrilaţia inimii

Intensitate [mA]	10	60	90	110	160	250	350	500
Durata de acţiune [s]	30	10—30	3	2	1	0,4	0,2	0,1

Pentru valori ale intensității curentului de ordinul amperilor, la durate mari de trecere prin organism, apare riscul producerii unor arsuri grave.

Calea de închidere a circuitului electric prin organism

O mare importanță are calea de trecere a curentului; s-au relevat în § 2 diferențele mari valorice ale rezistenței electrice pentru diferite zone ale suprafeței corpului.

Desigur că în cazul în care atingerea elementelor sub tensiune are loc în zonele de mare sensibilitate nervoasă sau dacă în circuit se află inima, pericolul de electrocutare este mare.

Mediul ambiant

Umiditatea, temperatura sînt factori care caracterizează gradul de pericol pe care îl prezintă locul de muncă.

Umiditatea mare, temperatura ridicată a mediului ambiant, praful bun conducător de electricitate, determină scăderea rezistenței electrice a organismului.

4. Concluzii

— Datorită multitudinii parametrilor care intervin precum și a particularităților specifice este necesar să se considere organismele vii care constituie evident medii complexe, polimorfe, ca alcătuind o categorie aparte în clasificarea corpurilor din punct de vedere al proprietăților de conductibilitate electrică: grupa conductoarelor de speța a III-a.

— Valorile limită care se utilizează în calculul și dimensionarea sistemelor de protecție împotriva electrocutărilor:

— curentul inofensiv se consideră $I \leqslant 10$ mA pentru curent alternativ de frecvență industrială (40 — 60) Hz) și $I \leqslant 50$ mA pentru curentul continuu;

— intensitatea care poate deveni periculoasă provocînd efecte ireversibile grave se consideră $I \geqslant 50$ mA atît pentru curentul alternativ cît și pentru curentul continuu;

— timpul suficient „util" pentru evitarea unei electrocutări grave se consideră $t \leqslant 0{,}2$ s, pentru instalații electrice de joasă tensiune (pînă la 250 V între elementul sub tensiune și pămînt) și $t \leqslant 0{,}1$ s pentru instalații electrice de înaltă tensiune (peste 250 V față de pămînt) cu condiția ca tensiunea de atingere realizată de sistemul de protecție să nu depășească totuși 500 V.

— Conform experiențelor efectuate de diverși cercetători și după datele din statisticile electrocutărilor, în tehnica securității în instalațiile electrice valoarea rezistenței electrice a organismului viu se consideră egală cu 1000 Ω. În aprecierea pericolului de electrocutare și în executarea protecției trebuie să se țină seama, de la caz la caz și de posibilitatea micșorării rezistenței organismului sub valoarea de 1000 Ω, îndeosebi în încăperi cu umiditate de 100 %, temperatură peste 30°C, mase metalice mari etc. Valoarea convențională a rezistenței la care se referă prescripțiile din Normele CEI este de 3000 Ω [25].

— Valoarea curentului care trece prin corpul omului, la atingerea unui element aflat sub tensiune, depinde în mare măsură de tipul rețelei la care acesta este racordat. Cele mai periculoase accidente sînt generate de atingerea concomitentă a două elemente din circuitele curenților de lucru. Electrocutările se pot produce prin atingerea directă sau indirectă [12, 13]. Pentru prevenirea accidentelor prin atingere directă a elementului aflat sub tensiunea normală de lucru, deconectat, dar încărcat capacitiv sau sub influența unui cîmp electromagnetic sau electrostatic, un rol important îl au normele de tehnica securității.

În cazul atingerilor indirecte ale unor elemente destinate îngrădirii, carcasării sau susținerii unei instalații sau a echipamentului electric aflate sub tensiune datorită unui defect, pentru prevenirea accidentelor, rolul important îl au diferite sisteme de protecție, care acționează limitînd tensiunile de atingere la valori reduse admise de norme și deconectînd circuitul în timp util.

Bibliografie

[1] *Schwan, P. H.* Determination of biological impedance. Physical Techniques in Biological Research, Vol. VI, New York, 1963.

[2] *Manoilov, V. E.* Recherche sur les particularités de la conductivitè du corps humain. În: Elektricestvo, nov. 1963, 9—12 p.

[3] *Söderbaum, C. E.* Etude expérimentale de la résistance électrique du corps humain. În: Bull. ASE, 1952, 110—115 p.

[4] *Brazier, M. A.* A method for the investigation of the impedance of the human body to an alternating curent. În: The Journal of I.E.E., 1933, 204—209 p.

[5] *Golovanov, C., Dumitrescu, I. Fl., Nicolau, V.* Experimental-teoretische Arbeit über bioelektrischen Eigenschaften der aktiven Hautpunkte. În: Deutsche Zeitsch. für Akup, nr. 3, 1968.

[6] *Golovanov, C., Dumitrescu, I. Fl.* Asymetries elèctriques cutanèes În: Nouv, Rev. Int. d'Acup., nr. 3, 1968.

[7] *Golovanov, C., Dumitrescu, I. Fl., Șerban, N.* Veränderungen der Hautelektrizität bei Knochenentzündungen und tumoren. În: D. Zeitsch. für Akup., nr. 3, 1969.

[8] *Golovanov, C., Dumitrescu, I. Fl., Cojocaru, C., Nicolau, V.* Metodă și aparat de electro-dermodiagnoză. În: Dosar de invenție OSIM București, nr. 54.968, 1967.

[9] *Golovanov, C., Dănilă, T., Dumitrescu, I. Fl.* Contribuții la explorarea proprietăților electrice ale organismelor vii, comunicare susținută la a XIV-a Sesiune de comunicări științifice a Institutului Politehnic din București.

[10] *Dumitrescu, I. Fl.* Activitatea electrodermală. Teză de doctorat, București, 1972.

[11] *Manoilov, V. E.* Problemî elektrobezopasnosti. În: CEI, Leningrad, 1961.

[12] *Șufrim, M.* Protecția împotriva tensiunilor accidentale. Editura Tehnică, București 1967.

[13] *Sufrim, M.* Tehnica securităţii în instalaţiile electrice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1963.
[14] *Beintker, W.* Wirkungen des elektrischen Stromes auf den Menschen. În: Technische Überwachung, ian. nr. 1, 1961, 17—20 p.
[15] *Bender, W.* Kleine Wechselstromnetze mit Schutzleitungssysteme. În: ETZ—A, 83 (1962), nr. 3, 62—68 p.
[16] *Eggert, W.* Eine neue Schutzmassnahme gegen das Auftreten zu hoher Berührungsströme, in Netzen mit Nennspannungen unter 250 V gegen Erde. În: Die Technik, *16*, nr. 10, 1961, 717—720 p.
[17] *Denoyelle, A.* Mise à la terre et sécurité. În: R.G.E. *67*, nr. 1, 1958, 5—31 p.
[18] *Lachlau, W. M.* Le choc élèctrique. În: Electr. Eng. 70, 1951, 871—876 p.
[19] *Dalziel.* Le seuil de la perception physiologique du courant électrique. În: R.G.E. *64*. ian. 1955, 43 p.
[20] *Reamer, C. R., Vann, H. E.* Les facteurs humains et ies dispositif de sécurité dans les installations d'essais électrique. În: Electr. Eng. *75*, martie 1956, 222—226 p.
[21] *Kowenhoven, W. B., Knickerbocker, G. G., Milnor, W. P., Jude, J. R.* Le traitement sur place des accidents dû à l'électricité. În: Electr. Eng. *79*, 1960, 500—503 p.
[22] *Ammann, Gh.* Les mesures à prendre en cas d'accident du à l'électricitée. În: Bull. ASE, *54*, nov 1963.
[23] *Serati, A.* L'électrocution et les secours aux électrocutés. În: Bull. ASE, *54*, 1963, 1090—1095 p.
[24] *Jellinek, S.* L'aaccident électrique. Effets du courant électrique sur les tissus vivant. În: E.u.M., 69, 1952, 121—123 p.
[25] *Capulzini, A.* Pericolul accidentelor prin electrocutare. În: Elettrificazione, nr. 3, martie 1968, 121—125 p. În: Culegerea de traduceri „Prevenirea accidentelor datorită curentului electric" I.D.T. 1970.
[26] *Rădulescu, V.* Stadiul actual al protecţiei instalaţiilor electrice de joasă tensiune prin legare la pămînt şi legare la nul. I.D.T., Bucureşti, 1963.

Intrat în redacţie la 15.VIII.1972

Modalităţile de influenţare a intensităţii cîmpului magnetic al bobinei elicoidale masive parcursă de curent oscilatoriu amortizat

MIHAI ŞERBĂNESCU * — Bucureşti

CZ 621.3.013:621.318.4

În ultimii ani, ca urmare a creşterii cerinţelor tehnologiei moderne, au luat o amplă dezvoltare metodele rapide de deformare plastică la rece a metalelor. Au fost realizate astfel instalaţii cu principii diverse de funcţionare (mecano-pneumatice, cu explozie, hidroelectrice, electromagnetice), a căror eficacitate se bazează pe utilizarea unor energii înalte, dezvoltate într-un timp foarte scurt.

Deşi cea mai nouă, metoda deformării electromagnetice s-a dezvoltat accelerat, datorită avantajelor oferite de posibilitatea controlului mărimii undei de presiune, de apariţia forţelor de deformare direct în masa piesei (fără contact mecanic), de calitatea suprafeţelor şi a microstructurii zonei deformate, de precizia deosebită a deformării.

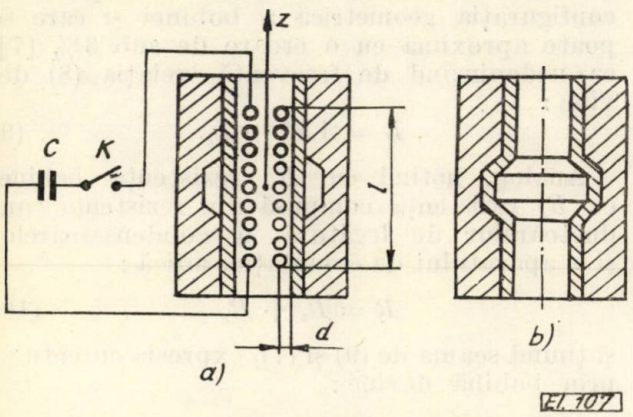


Fig. 1. Deformarea prin expansiune electromagnetică a unei ţevi metalice :
a — schema de principiu a dispozitivului cu piesa nedeformată ; *b* — piesa şi suportul său, după deformare.

Deformarea prin expansiune electromagnetică (fig. 1), cu principiul descris într-un număr relativ mare de lucrări, se bazează pe descărcarea în regim oscilatoriu amortizat a unei baterii de condensatoare printr-o bobină aflată în interiorul piesei de deformat [1], [2], [3].

În piesă apar prin inducţie electromagnetică curenţi turbionari, iar ca urmare a interacţiunii dintre aceştia şi cîmpul magnetic inductor, în masa piesei iau naştere forţe Lorentz care acţionează radial, spre exterior. La depăşirea limitei de curgere a materialului, acesta se deformează plastic.

1. Consideraţii asupra calculului şi posibilităţii de creştere a presiunii maxwelliene.

Pentru calculul presiuni maxwelliene maxime exercitată asupra piesei de deformat [4], din relaţia (1) rezultă necesitatea cunoaşterii inducţiei magnetice B_{omax} la suprafaţa interioară a piesei :

$$p_{max} = \frac{B_{omax}^2}{2\,\mu}, \qquad (1)$$

unde μ este permeabilitatea magnetică a materialului. În acest scop se poate folosi expresia (2), similară cu cea demonstrată în [5] (faţă

* Ing. *M. Şerbănescu* este cercetător ştiinţific la I.C.P.E.

de care diferă numai notaţiile):

$$B_{omax} \cong K\mu \frac{Ni_{max}}{l}, \tag{2}$$

unde:

K este un factor care depinde de l, d şi z (fig. 1);
N — numărul de spire al bobinei;
i_{max} — valoarea maximă a curentului oscilatoriu amortizat.

Notăm cu θ_{smax} valoarea maximă a solenaţiei pe unitatea de lungime axială (solenaţia specifică maximă) şi cu θ_s solenaţia specifică la o valoare oarecare a curentului:

$$\theta_{smax} = \frac{Ni_{max}}{l}, \tag{3}$$

$$\theta_s = \frac{Ni}{l}. \tag{4}$$

Întrucît pentru realizarea unei presiuni ridicate este necesară o valoare ridicată a inducţiei magnetice (bineînţeles cu respectarea unei valori minime a frecvenţei) şi deoarece la valori date ale parametrilor l şi d, inducţia magnetică într-un punct z la suprafaţa interioară a piesei depinde numai de factorul θ_s, apare ca o necesitate cunoaşterea modului de influenţare a creşterii acestuia.

În cele ce urmează se va studia dependenţa solenaţiei specifice maxime θ_{smax}, funcţie de parametrii geometrici ai bobinei şi de parametrii electrici ai circuitului, în cazul descărcării oscilant amortizate a unui condensator printr-o bobină elicoidală, cu conductorul ma-

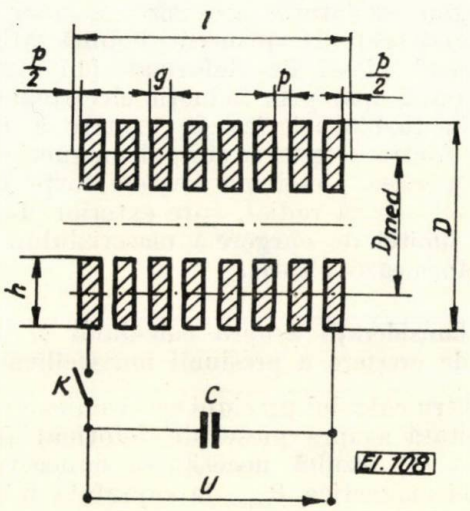


Fig. 2. Parametrii geometrici principali ai bobinei elicoidale.

siv avînd secţiunea dreptunghiulară, prezentată schematic în figura 2; această configuraţie este cel mai des utilizată la construcţiile bobinelor pentru expansiune electromagnetică.

2. Solenaţia specifică maximă a bobinei elicoidale.

Expresia curentului stabilit la descărcarea prin bobină a bateriei de condensatoare C, este [6]:

$$i = \frac{U}{\omega L} e^{-\alpha t} \sin \omega t, \tag{5}$$

unde:

U este tensiunea la care a fost încărcată bateria de condensatoare;
L — inductivitatea totală a circuitului de descărcare;
α — constanta de amortizare, $\alpha = \frac{R}{2L}$;
R — rezistenţa totală a circuitului de descărcare;
ω — pulsaţia, $\omega = \sqrt{\omega_0^2, - \alpha^2}$;
ω_0 — pulsaţia proprie de oscilaţie; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Deoarece în practica acestui gen de construcţii $\omega_0^2 \gg \alpha^2$, se poate considera pulsaţia:

$$\omega \cong \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \tag{6}$$

iar expresia curentului devine:

$$i = U \sqrt{\frac{C}{L}} e^{-\frac{R}{2L} t} \sin \omega t. \tag{7}$$

Notînd cu L_b inductivitatea bobinei şi cu L_e inductivitatea compusă din inductivitatea conductoarelor de legătură, a condensatoarelor şi a aparatului de comutaţie K (eclator sau ignitron), L se poate scrie:

$$L = L_b + L_e. \tag{8}$$

Cu $L_b = AN^2$, unde N este numărul de spire al bobinei, iar A un coeficient care depinde de configuraţia geometrică a bobinei şi care se poate aproxima cu o eroare de sub 3% [7], ca nedepinzînd de frecvenţă, relaţia (8) devine:

$$L = AN^2 + L_e. \tag{9}$$

Analog, notînd cu R_b rezistenţa bobinei cu R_e rezistenţa compusă din rezistenţa conductoarelor de legătură, a condensatoarelor şi a aparatului de comutaţie, adică:

$$R = R_b + R_e \tag{10}$$

şi ţinînd seama de (9) şi (7), expresia curentului prin bobină devine:

$$i = U \sqrt{\frac{C}{AN^2 + L_e}} \exp \left[- \frac{R_b + R_e}{2\,(AN^2 + L_e)} \cdot t \right] \sin \omega t. \tag{11}$$

Se ajunge astfel la solenaţia specifică :

$$\theta_s = \frac{N}{l} U \sqrt{\frac{C}{A N^2 + L_e}} \exp\left[- \frac{R_b + R_e}{2 (AN^2 + L_e)} \cdot t \right] \sin \omega t. \quad (12)$$

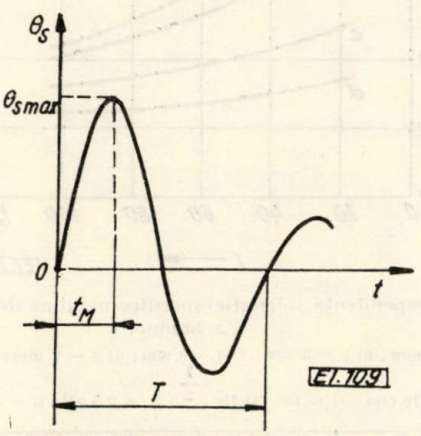


Fig. 3. Forma variaţiei în timp a solenaţiei specifice a bobinei.

Momentul t_M, la care θ_s atinge valoarea maximă, (fig. 3), este :

$$t_M = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{\pi}{2} \sqrt{LC}, \quad (13)$$

care introdus în (12) conduce la valoarea maximă a solenaţiei specifice :

$$\theta_{smax} = \frac{N}{l} U \sqrt{\frac{C}{AN^2 + L_e}} \exp\left[- \frac{\pi}{4} (R_b + R_e) \sqrt{\frac{C}{AN^2 + L_e}} \right]. \quad (14)$$

3. Dependenţa solenaţiei specifice maxime de parametrii bobinei şi ai circuitului.

Cu notaţiile din figura 2, rezistenţa în curent alternativ a bobinei este dată de relaţia :

$$R_b = K_a \frac{\rho \pi D_{med} N}{hg}, \quad (15)$$

unde K_a este factorul de creştere în alternativ a rezistenţei, iar ρ — rezistivitatea materialului bobinei.

Întrucît la frecvenţele utilizate (de peste 10 kHz), adîncimea de pătrundere în semispaţiul conductor este mult mai mică decît dimensiunea h, în regim pronunţat de refulare a curentului, factorul K_a [8] are expresia :

$$K_a \cong \alpha h, \quad (16)$$

unde :

$$\alpha = \sqrt{\pi f \sigma' \mu}, \quad (17)$$

şi

$$\sigma' = \frac{Ng}{l - p} \sigma, \quad (18)$$

σ fiind conductivitatea electrică a materialului bobinei. Relaţia (15) devine :

$$R_b = \sqrt{f} \cdot \frac{\rho \pi D_{med} N}{g} \sqrt{\pi \sigma' \mu}, \quad (19)$$

sau notînd :

$$P = \frac{\rho \pi D_{med} N}{g} \sqrt{\pi \sigma' \mu}, \quad (20)$$

$$R_b = \sqrt{f} \cdot P. \quad (21)$$

Pentru celelalte elemente ale circuitului de descărcare, regimul de refulare a curentului fiind tot pronunţat, conform [8] se poate stabili o expresie analoagă :

$$R_e = \sqrt{f} \cdot Q. \quad (22)$$

Înlocuind în (14) relaţiile (21) şi (22) şi eliminînd frecvenţa prin utilizarea expresiei (6), se obţine :

$$\theta_{smax} = \frac{N}{l} U \sqrt{\frac{C}{A N^2 + L_e}} \exp\left[- \sqrt{-\frac{\pi}{32}} (P + Q) \sqrt[4]{\frac{C}{(A N^2 + L_e)^3}} \right]. \quad (23)$$

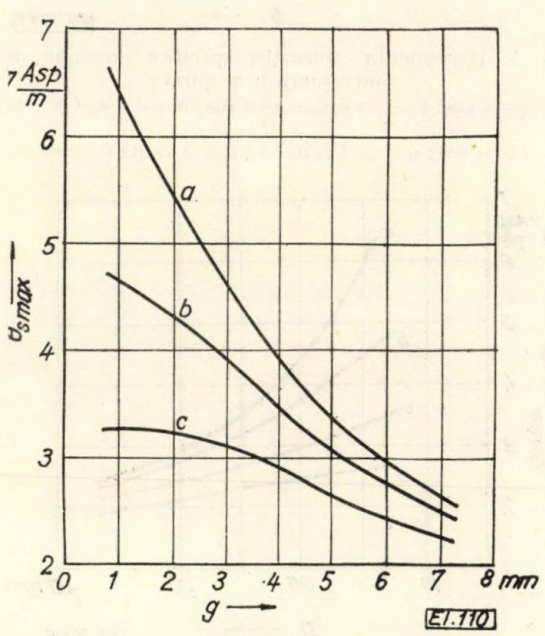


Fig. 4. Dependenţa solenaţiei specifice maxime de grosimea g a spirei :

a) l = 24 mm ; b) l = 48 mm ; c) l = 96 mm. D = 25 mm ; h = 10 mm ; $Q = 10^{-5}\ \Omega\ \mathrm{Hz}^{-\frac{1}{2}}$; L_e = 0,5 μ H ; C = 400 μF.

Din [7], cu observaţia făcută la relaţia (9), rezultă :

$$A = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot D_{med} \Phi, \tag{24}$$

cu expresia tabelată a factorului Φ :

$$\Phi = \Phi (D_{med}, h, l). \tag{25}$$

În sfîrşit, exprimînd numărul de spire N al bobinei, funcţie de parametrii săi geometrici :

$$N = \frac{l}{p + g}, \tag{26}$$

se obţine sistemul alcătuit din ecuaţiile (23), (24), (25), (26) şi (18). Prin rezolvarea numerică

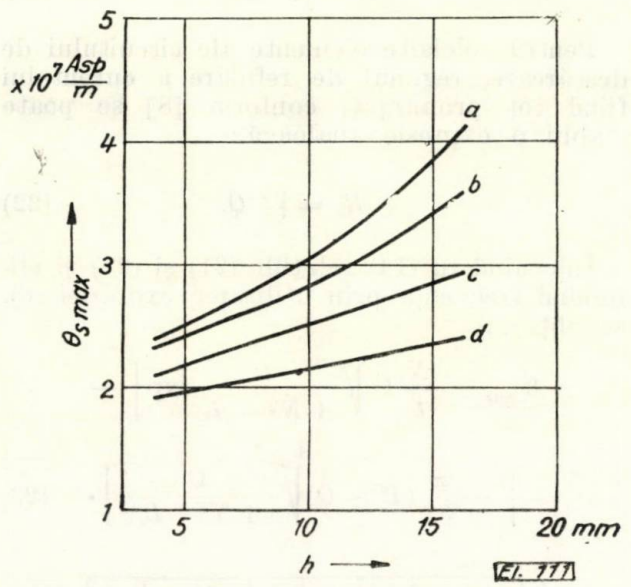


Fig. 5. Dependenţa solenaţiei specifice maxime de dimensiunea h a spirei :

a) g = 1 mm ; b) g = 3 mm ; c) g = 5 mm ; d) g = 7 mm. D = 35 mm ; l = 48 mm ; $Q = 10^{-5}\ \Omega\ \mathrm{Hz}^{-\frac{1}{2}}$; L_e = 0,5 μH ; C = 400 μF.

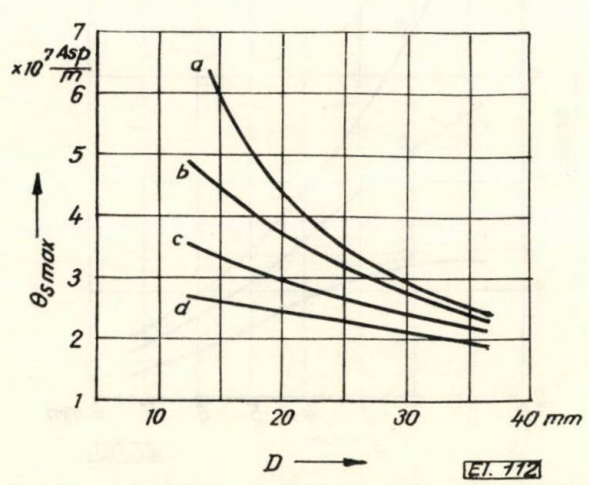


Fig. 6. Dependenţa solenaţiei specifice maxime de diametrul exterior D al spirei :

a) g = 1 mm ; b) g = 3 mm ; c) g = 5 mm ; d) g = 7 mm. h = 5 mm ; l = 48 mm ; $Q = 10^{-5}\ \Omega\ \mathrm{Hz}^{-\frac{1}{2}}$; L_e = 0,5 μH ; C = 400 μF.

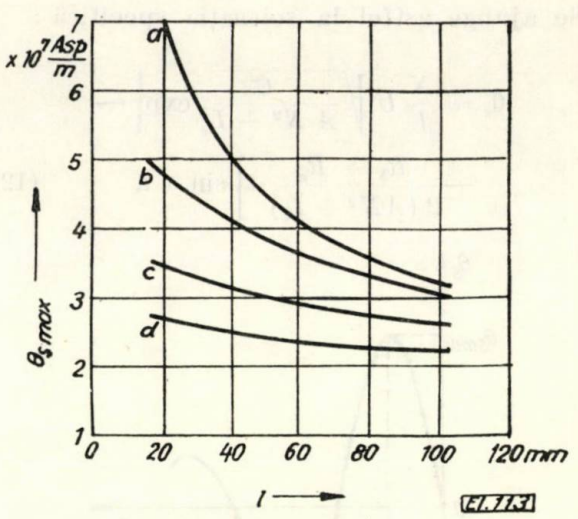


Fig. 7. Dependenţa solenaţiei specifice maxime de lungimea l a bobinei

a) g = 1 mm ; b) g = 3 mm ; c) g = 5 mm ; d) g = 7 mm ; D = 25 mm ; h = 10 mm ; $Q = 10^{-5}\ \Omega\ \mathrm{Hz}^{-\frac{1}{2}}$; L = 0,5 μH ; C = 400 μF.

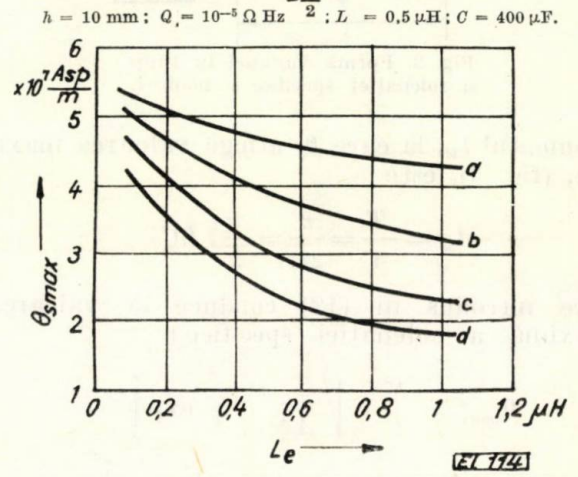


Fig. 8. Dependenţa solenaţiei specifice maxime de inductivitatea exterioară L_e .

a) g = 1 mm ; b) g = 3 mm ; c) g = 5 mm ; d) g = 7 mm. D = 25 mm ; l = 48 mm ; h = 10 mm ; $Q = 10^{-5}\ \Omega\ \mathrm{Hz}^{-\frac{1}{2}}$; c = 400 μF.

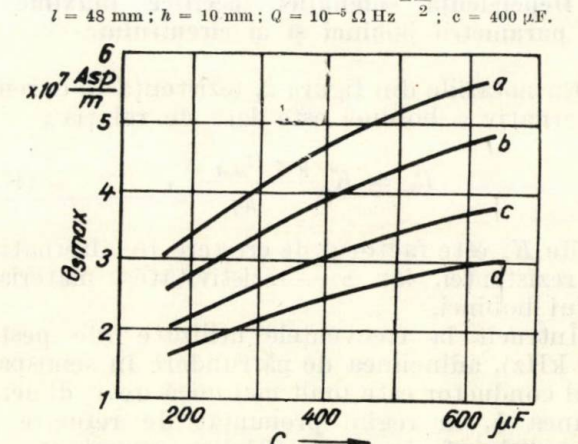


Fig. 9. Dependenţa solenaţiei specifice maxime de capacitatea C a bateriei de condensatoare :

a) g = 1 mm ; b) g = 3 mm ; c) g = 5 mm ; d) g = 7 mm ; D = 25 mm ; l = 48 mm ; h = 10 mm ; $Q = 10^{-5}\ \Omega\ \mathrm{Hz}^{-\frac{1}{2}}$; L_e = 0,5 μH.

a acestuia într-un număr mare de variante, cuprinse în domeniile uzuale de valori ale parametrilor bobinei și circuitului de descărcare, se obțin curbele din figurile 4, 5, 6, 7, 8 și 9. Calculele au fost efectuate pentru bobine din cupru, cu $p = 1$ mm și la tensiunea $U = 6$ kV.

Din curbele de mai sus rezultă explicit forma și rapiditatea dependenței solenației specifice maxime, funcție de fiecare dintre parametrii importanți ai bobinei și ai circuitului de descărcare.

4. Concluzii

În problemele legate de producerea cîmpurilor magnetice intense la frecvențe ridicate (în cazul nostru, pentru expansiunea electromagnetică), apare necesitatea alegerii optime a parametrilor electrici ai circuitului și, mai ales, pentru instalații de impuls de curent date, necesitatea alegerii optime a parametrilor geometrici ai bobinei.

Acest deziderat impune cunoașterea dependenței intensității cîmpului magnetic, sau — după cum s-a arătat — a solenației specifice, explicit funcție de fiecare dintre acești parametri.

Curbele obținute redau această dependență și (cu respectarea anumitor condiții impuse de posibilitățile tehnologice și de criterii specifice ale construcției dispozitivelor pentru expansiunea electromagnetică) permit optimizarea alegerii parametrilor anterior prezentați.

Bibliografie

[1] *Preperski, H.* Elektromagnetisches Umformen. În: Elektrotechnik und Maschinenbau, *82*, nr. 7, iulie 1965, p. 342—349.

[2] *Flueraşu, C.* Cîmpul și acțiunile ponderomotoare ale pînzelor de curent și de flux magnetic cuasistaționar; aplicații la formarea electromagnetică. Lucrare de doctorat, Inst. Politehnic București, 1970.

[3] *Müller, H. P.* Elektrohydraulisches und elektromagnetisches Umformverfahren in der Fertigung. În: Industrie-Anzeiger, nr. 49, 1970, p. 1100—1113.

[4] *Dietz, H.* ș.a. Theorie des Magnetform-Verfahrens: Erreichbarer Druck. În: E.T.Z. — A. *88*, nr. 9, sept. 1967, p. 217—222.

[5] *Flueraşu, C.* și *Galan, N.* Curenții turbionari și căldura dezvoltată într-un conductor cilindric foarte lung, situat într-o bobină circulară de lungime finită parcursă de curent alternativ. În: St. cerc. energ. electr., *16*, nr. 2, aprilie 1966, p. 237—255.

[6] *Bircă, C.* și *Șerbănescu, M.* Formarea rapidă în cîmp electromagnetic. În: Lucrările I.C.P.E., nr. 26, decembrie 1971, p. 155—159.

[7] *Kalantarov, P. L.* și *Țeitlin, L. A.* Calculul inductanțelor. (Trad. din l. rusă). București, Ed. Tehnică, 1958.

[8] *Mocanu, C. I.* Bazele electrotehnicii-Curenți variabili în conductoare masive. Lito. Inst. Politehnic București, 1969.

Intrat în redacție la 29. VI. 1972

Contribuții la pornirea cu accelerație controlată a motorului electric asincron

IOAN TURCU și HORTENSIA RUSU* — Timișoara

CZ 621.313.33—57

Problema pornirii cu accelerație controlată (variabilă) în cazul acționărilor cu motor asincron trifazat cu inele s-a prezentat într-un articol anterior [8].

Pornind de la ecuația generală a mișcării:

$$C = C_s + \theta \frac{\mathrm{d}\,\Omega}{\mathrm{d}t}, \qquad (1)$$

se ajunge la ecuația mișcării cu accelerație variabilă, în perioada pornirii:

$$C = C_s + k_2 \sqrt{1 - s}, \qquad (2)$$

unde:

C este cuplul motor în perioada pornirii;
C_s — cuplul rezistent;

$$k_2 = \theta \sqrt{\frac{2\,\Omega_1 \Omega'_A}{t_A}}; \qquad (3)$$

θ — momentul de inerție total redus la arborele motorului;
Ω_1 — viteza unghiulară sincronă;
t_A — timpul corespunzător perioadei de pornire cu accelerație variabilă;
Ω'_A — accelerația unghiulară în momentul t_A;
s — alunecarea motorului.

Pornirea cu accelerație variabilă se poate realiza prin intercalarea de rezistențe în circuitul rotoric [8] sau prin modificarea tensiunii de alimentare folosind amplificatoare magnetice sau tiristoare, în așa fel încît să se realizeze o variație a cuplului de pornire, conform relației 2.

Modificarea și reglarea vitezei și a cuplului cu ajutorul amplificatoarelor magnetice sau a tiristoarelor conectate simetric pe cele trei faze statorice se utilizează [1 — 7] mai ales pentru acționarea mecanismelor mașinilor care sînt caracterizate printr-un regim intermitent de funcționare cu multe porniri și opriri.

* Dr. ing. *I. Turcu* este conferențiar la Universitatea din Timișoara, iar ing. *H. Rusu* este cercetător principal la I.C.P.E.H.R — Timișoara

În cazul folosirii amplificatoarelor magnetice, modificarea cuplului de pornire se realizează prin intermediul curentului de comandă al acestora, controlat printr-o legătură inversă de viteză.

În lucrarea de faţă se deduce pe cale grafo-analitică felul în care trebuie să varieze curentul de comandă al amplificatoarelor magnetice în funcţie de viteză şi modul de realizare al acestei variaţii, pentru a obţine variaţia dorită a cuplului la motor. Rezultă că prin dimensionarea corespunzătoare a parametrilor unei legături inverse de viteză de la un generator tahometric se poate obţine o formă a cuplului motor destul de apropiată de cea impusă (dedusă teoretic). Abaterile valorilor acceleraţiei astfel obţinute de la valorile deduse teoretic — valorile deduse teoretic fiind conform [8] direct proporţionale cu timpul — sînt cuprinse în limitele de erori admise în practica de proiectare.

Rezultatele obţinute pe cale experimentală au confirmat, justeţea calculelor analitice.

Determinarea pe cale grafo-analitică a curbei $i_c = f(s)$ în scopul obţinerii alurii dorite a cuplului motor.

Cunoscînd motorul de acţionare şi amplificatoarele magnetice utilizate, se trasează iniţial, analitic sau experimental, următoarele curbe caracteristice:

a. — Caracteristica mecanică artificială a motorului de acţionare alimentat cu tensiunea nominală, considerînd rezistenţa rotorică R_2 introdusă în circuit. (Valoarea rezistenţei R_2 rezultă din condiţia ca la o anumită viteză, după ce perioada de pornire cu acceleraţie variabilă s-a terminat şi deci amplificatorul magnetic este saturat, cuplul dezvoltat de motor să fie mai mare decît cuplul rezistent maxim care poate să apară în timpul funcţionării. După ce s-a atins valoarea acceleraţiei corespunzătoare vitezei care limitează perioada de pornire cu acceleraţie variabilă, se poate trece la scurtcircuitarea în continuare a rezistenţei rotorice).

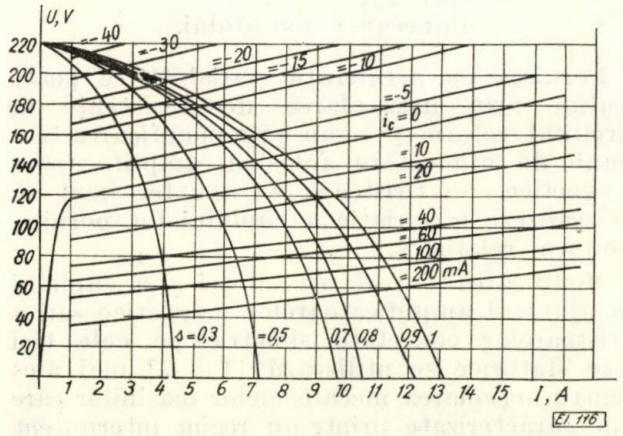


Fig. 1. Caracteristicile de magnetizare simultană $U = f(I)$

b. — Caracteristicile de magnetizare simultană $U = f(I)$ avînd curentul de comandă i_c ca parametru, care se obţin fie din catalog fie se determină pe cale experimentală la aplificatorul magnetic utilizat (fig. 1).

c. — De asemenea se determină caracteristicile de sarcină $U = f(I)$, care leagă cele două elemente înseriate: amplificatorul magnetic şi motorul de acţionare, prin elementul lor comun, curentul de sarcină I.

Motorul asincron reprezintă pentru amplificatoarele magnetice o sarcină variabilă în funcţie de viteză. Pentru o anumită viteză, cunoscînd parametrii motorului, se pot determina caracteristicile de sarcină $U = f(I)$ pe fază, avînd alunecarea s ca parametru.

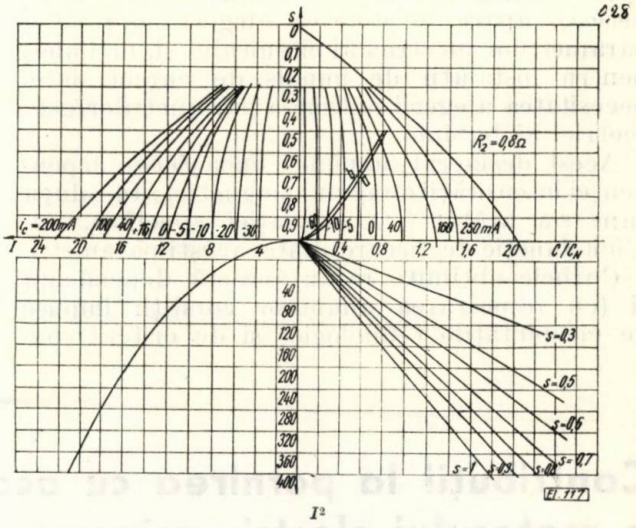


Fig. 2. Construcţia grafică pentru determinarea caracteristicilor

$$\frac{C}{C_N} = f(s) \text{ la } i_c = \text{ct.}$$

Din intersecţia caracteristicilor de magnetizare simultană şi a caracteristicilor de sarcină din figura 1 rezultă curbele $I = f(s)$ avînd i_c ca parametru, reprezentate în cadrul 2 al figurii 2.

În continuare se determină caracteristicile mecanice artificiale ale motorului de acţionare la diferiţi curenţi de comandă ai amplificatoarelor magnetice, folosind o metodă grafică [1] bazată pe proporţionalitatea dintre tensiunea de alimentare şi curentul statoric conform figurii 2.

Se procedează în felul următor:

În cadranul 1 se trasează caracteristica motorului alimentat cu tensiunea nominală şi avînd rezistenţa R_2 în rotor.

În cadranul 2 se reprezintă curbele $I = f(s)$ pentru i_c ca parametrul, inclusiv curba limită, cînd căderea de tensiune pe amplificator este nulă şi deci la motor ajunge tensiunea nominală.

În cadranul 3 se trasează parabola curentului, I^2, iar în cadranul 4 se duc dreptele $I^2 = f\left(\frac{C}{C_N}\right)$, cunoscînd pentru diferite alunecări punctele I^2 și $\frac{C}{C_N}$ la alimentarea cu tensiunea nominală.

Transpunînd curentul I corespunzător diferitelor alunecări s, pentru un $i_c = \text{const.}$, în cadranul 1 se obțin caracteristicile $\frac{C}{C_N} = f(s)$, avînd i_c ca parametru.

Se reprezintă curba cuplului motor care realizează pornirea cu accelerație variabilă, în funcție de alunecare (fig. 2, curba „a"). Din intersecția acesteia cu caracteristicile $\frac{C}{C_N} = f(s)$ la $i_c = \text{ct}$ rezultă alura curbei $i_c = f(s)$ care trebuie realizată (curba „a" din figura 4).

Avînd în vedere că procesul de pornire la mecanismul de translație este destul de lent, se consideră constanta de timp electromecanică a acționării mai mare decît constanta de timp electromagnetică a înfășurării de comandă a amplificatorului magnetic și deci, se admite pentru curentul de comandă o variație liniară cu viteza. (Prin încercările experimentale efectuate s-a constatat că admițînd această ipoteză erorile sînt în limite admisibile).

Circuitul de comandă și de polarizare se dimensionează în așa fel încît dreapta $i_c = f(s)$ să se suprapună cît mai bine peste curba obținută prin calcul (curba „c" din figura 4). Înclinația dreptei se modifică prin rezistența R_c din circuitul de comandă al amplificatorului magnetic, alimentat de la tahogenerator (dreapta „d" din figura 4), iar valoarea inițială, la $s = 1$, este dată de curentul de polarizare i_p.

Se menționează că prin i_c se înțelege curentul de comandă total obținut cu relația :

$$I_c = i_{c1} + i_p \frac{W_p}{W_c} = i_{c1} + i'_p, \qquad (4)$$

unde : W_p și W_c reprezintă numărul de spire al înfășurărilor de polarizare și de comandă; i_{c1} curentul din înfășurarea de comandă; i_p curentul din înfășurarea de polarizare.

Încercări experimentale

La încercările executate pe stand, în laborator, s-a utilizat schema de montaj din figura 3.

Motorul de acționare MA este un motor tip M_2 41—6 de 5 kW, 1000 rot/min. $\theta_M = 0{,}1$ kgm² avînd o rezistență exterioară de $R_2 = 0{,}8$ ohmi în circuitul rotoric.

Încărcarea motorului s-a realizat folosind un generator de curent continuu G_{cc} de 10 kW, 750 rot/min, $U_n = 200$ V, $\theta_G = 0{,}45$ kg m², care debita peste o rezistență. Amplificatoarele magnetice AM utilizate sînt de tip AMSU — 4 b. 2000 VA și 220 V.

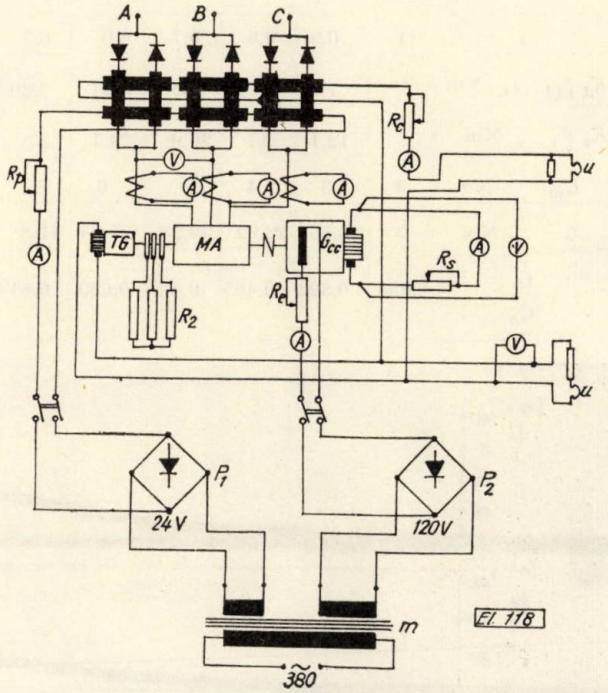


Fig. 3. Schema de montaj pentru efectuarea încercărilor experimentale.

Tahogeneratorul TG are următorii parametri: tensiunea 200 V, turația 1 400 rot/min.

În acest caz cuplul de sarcină C_s crește liniar cu viteza :

$$C_s = C_{so} + k_1(1 - s). \qquad (5)$$

Deci, relația (2) devine :

$$C = C_{so} + k_1(1 - s) + k_2\sqrt{1 - s}. \qquad (6)$$

Utilizînd relația (6) unde C_{so} și k_1 s-au determinat prin măsurători la stand, iar k_2 conform relației (3) în care s-a luat timpul $t_A = 2$ s și accelerația $\Omega'_A = 46$ rot/s² (s-a ales $\Omega'_A = 46$ rot/s², deoarece la un raport de transmisie obișnuit la podurile rulante această accelerație unghiulară corespunde unei accelerații liniare, considerate ca limită admisibilă), s-a calculat în tabelul 1 curba cuplului pe care trebuie să-l dezvolte motorul pentru pornirea cu accelerația variabilă dorită.

Din această curbă, trasată și notată cu „a" în cadranul 1 al figurii 2 rezultă prin intersecția cu caracteristicile $\frac{C}{C_N} = f(s)$ la $i_c = \text{ct.}$, curba $i_c = f(s)$ notată cu „a" în figura 4.

Elementele din circuitul de comandă s-au calculat pe baza dreptei notate cu „c" în fi-

Tabelul 1

Calculul cuplului teoretic $\frac{Cf}{C_N} = f(s)$

s	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$K_1\sqrt{(1-s)}$, Nm		1,46	2,92	4,38	5,84	7,30
$K_2\sqrt{1-s}$ Nm		12,1	17	20,9	24,1	27
C_{s0} Nm	3	3	4	5	6	7,5
C Nm	3	16,56	23,92	30,28	35,94	41,8
$\frac{C}{C_N}$	0,058	0,322	0,465	0,589	0,699	0,813

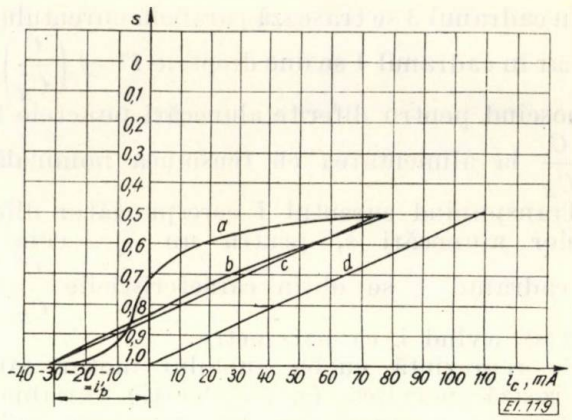


Fig. 4. Curbele teoretice, de calcul şi reală ale curentului de comandă i în funcţie de alunecare.

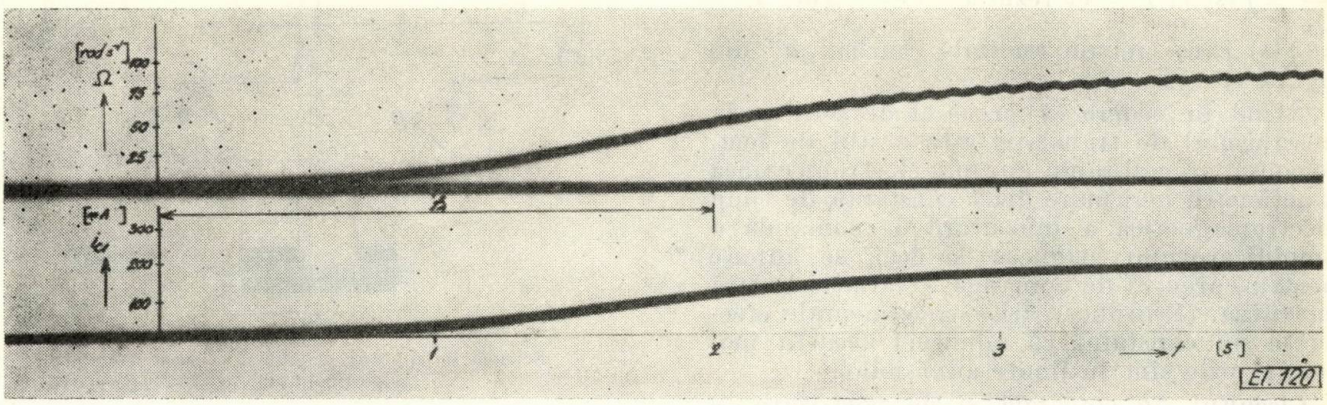


Fig. 5. Oscilograma vitezei şi a curentului de comandă în funcţie de timp.

gura 4 şi pentru care a rezultat $i_p = 171$ mA ($i'_p = 32{,}5$ mA. şi $i_{c1} = 0$) la $s = 1$. şi $i_{c1} = 107{,}5$ m A ($i_c = 75$ m A) la $s = 0{,}5$.

Rezistenţa care trebuie intercalată în circuitul tahogeneratorului rezultă:

$$R_{GT} = \frac{U_{GT}, s = 0{,}5}{i_{c1}, s = 0{,}5} = \frac{66{,}66}{107{,}5}\ 10^3 = 620 \quad \text{ohmi.}$$

În procesul de pornire a motorului pentru condiţiile de mai sus s-au oscilografiat viteza şi curentul de comandă al amplificatorului magnetic (fig. 5).

Pe baza curbei $\Omega = f(t)$ oscilografiată în figura 5 s-a determinat variaţia reală a cuplului dinamic $\theta \frac{\Delta\Omega}{\Delta t} = f(s)$, la care adăugîndu-se cuplul rezistent real $C_s = f(s)$ s-a putut calcula variaţia cuplului real dezvoltat la motor, trasată în valori relative $\frac{C}{C_N} = f(s)$ în figura 2 (curba b).

De asemenea, din oscilograma $i_{c1} = f(t)$ din aceeaşi figură s-a determinat variaţia reală a curentului de comandă $i_c = f(s)$ care s-a reprezentat în figura 4 (curba b).

În fine, în figura 6 s-au reprezentat curba calculată a acceleraţiei $\frac{d\Omega}{dt} = f(t)$ (curba „a") şi curba reală $\frac{d\Omega}{dt} = f(t)$ (curba „b"), dedusă grafic prin tangenta geometrică la curba vitezei oscilografiată în figura 5.

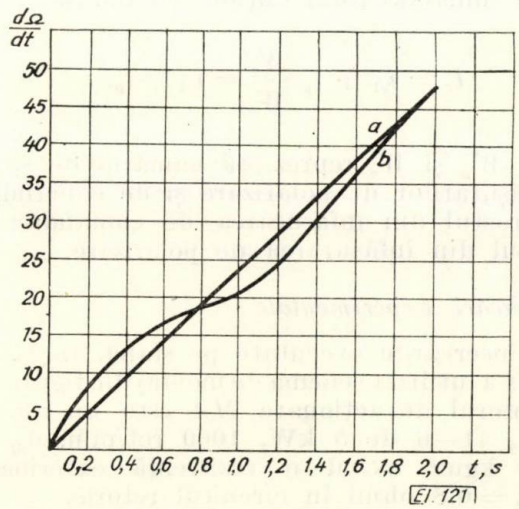


Fig. 6. Curbele reală şi calculată ale acceleraţiei în funcţie de timp.

Concluzii

Din comparaţia curbelor „*a*" şi „*b*" din figura 4 şi figura 5, adică a cuplurilor, respectiv a acceleraţiilor impuse şi realizate, se constată că valorile mărimilor realizate sînt foarte apropiate de valorile mărimilor impuse şi deci, metoda propusă permite o pornire cu comandă controlată a motorului asincron.

De asemenea, rezultă că modul de determinare a parametrilor din circuitul de comandă este corect şi uşor de realizat.

Metoda utilizată, dat fiind că acceleraţia impusă şi realizată este o acceleraţie variabilă crescătoare, direct proporţională cu timpul, acceleraţie care conduce la un şoc minim [8], permite obţinerea unei porniri line a mecanismului de acţionat.

În mod analog se poate obţine şi o frînare lină, fără şoc a mecanismului de acţionat, prin comanda curentului de comandă a amplificatorului magnetic, motorul funcţionînd în regim de frînare în contra curent. Modul de calcul al parametrilor circuitelor de comandă este asemănător.

Bibliografie

[1] *Cilikin, N., Sokolov, H. N.* şi *Simianschi.* Asincronîi electroprivod s droseliami nasîşcenia. Moscova-Leningrad, Editura Energia, 1964.

[2] *Kaffka, W.* şi *Doell, W.* Der durch Magnetverstärker gesteuerte Asynchronmotor. În: E.T.Z—A. vol. *78*, nr. 24, 1957, p. 885.

[3] *Kratz, P.* Steuerung und Regelung von Asynchronmotoren mit Transduktoren. În: E.T.Z. — B, Vol. *13*, nr. 1, 1961.

[4] *Sokolov, M. M., Kapunţov, N.* Regulinemîi asinchronnîi electroprivoda kranovîh mehanizmov s droseliami nasîşcenia. În: Elektricestvo, nr. 11, 1959 p. 49.

[5] *Zollinger, H. A., Crane, A. C.* Control with Load—O—Matic. În: Westinghouse Engineer, nr. 3, 1957, p. 54.

[6] *Otto Herbert.* Drehzahlregelung der Asynchronmaschine durch Veränderund ihrer Ständerspannung über die Anschnittsteuerung von Thyristoren. În: F.u.H. nr. 8, 1966, p. 679.

[7] *Gerner, Kl. Hager, Kl.* Neues Thyristorantrieb für Hebezeuge. În: Deutsche Hebe und Fördertechnik, nr. 11, 1966.

[8] *Turcu, I.* Cu privire la calculul rezistenţelor de pornire la motorul trifazat de inducţie cu inele. În: Electrotehnica nr. 12, 1969.

Intrat în redacţie la 29.IX.1971

Durata de viaţă a înfăşurărilor la transformatorul destinat încercărilor de scurtcircuit

MIHAIL PESICI*—Bucureşti

CZ 621.314.21.001.57.:621.3.064.1

Un laborator de mare putere de rupere destinat încercărilor aparatelor electrice de comutaţie la capacitatea de rupere şi la solicitările termice şi dinamice, are ca sursă de energie electrică fie un grup generator special, fie reţeaua de distribuţie, dacă aceasta are o putere adecvată. Şi într-un caz şi în celălalt unul din utilajele principale ale instalaţiei este transformatorul de scurtcircuit. Dacă din punct de vedere constructiv, în general, părţile active componente, nu sînt diferite de acelea ale unui transformator uzual, dimensionarea lui pentru încercări la scurtcircuit este, desigur, condiţionată de parametrii necesitaţi, iar durata lui de viaţă într-o mare măsură, de regimul termic impus de încercări. Stabilitatea termică a înfăşurărilor este afectată de energia termică dezvoltată în aceste înfăşurări în cursul scurtcircuitului şi într-o mare măsură de durata lui.

Destinat acestor şocuri termice, un astfel de transformator impune, din motive economice, o construcţie raţională, utilizînd unele soluţii de răcire strict impuse de regimul de exploatare şi de forma constructivă. În timp ce la un transformator uzual nu se admite depăşirea limitei de încălzire în funcţionare continuă la sarcină nominală, cu excepţia scurtcircuitelor şi suprasarcinilor întîmplătoare, la transformatorul destinat încercărilor de scurtcircuit, depăşirea temperaturii care afectează izolaţia înfăşurărilor poate fi admisă în raport cu durata de viaţă acceptată a izolaţiei înfăşurărilor. Desigur că şi într-un caz şi în altul, durata de viaţă a înfăşurărilor este convenţională, limitele prescrise sau acceptate fiind bazate pe considerente economice [5].

În general, izolaţia înfăşurărilor transformatoarelor corespunde clasei de izolaţie A şi este constituită din materii organice (hîrtie bumbac, mătase). Sub influenţa încălzirilor survenite în timpul funcţionării transformatorului, izolaţia înfăşurărilor îmbătrîneşte. S-a constatat o înrăutăţire mult mai accentuată a calităţilor mecanice ale izolaţiei faţă de cele electrice. Întrucît izolaţia nu este expusă numai cîmpului electric ci şi vibraţiilor electrodinamice produse de curent, apare cu atît mai mult probabilitatea unei străpungeri electrice, cu cît izolaţia devine mai coaptă şi mai casantă în decursul timpului. Pentru aceste motive, scăderea rezistenţei mecanice a izolaţiei, constituie criteriul ei de îmbătrînire. Din cercetă-

* Ing. *M. Pesici* este cercetător ştiinţific principal la *I.C.P.E.* — Bucureşti

rile întreprinse de Montsinger asupra izolației sub ulei în domeniul temperaturilor de 90°C — 200°C, a rezultat că valoarea rezistenței de rupere a acestor materii scade la jumătate la fiecare creștere a temperaturii cu 8°C.

Variația pătratului densității de curent de scurtcircuit și efectul termic în înfășurări

În regim de funcționare la sarcină nominală, înfășurările unui transformator uzual se încălzesc progresiv pînă la stabilizarea temperaturii la o anumită valoare. La scurtcircuit însă, intervine variația curentului care depinde exclusiv de parametrii de încercare și ai sursei care furnizează energia electrică. Încălzirea care rezultă în înfășurări este determinată de caracteristicile conductorului și de integrala pătratului curentului (sau a densității de curent) pe durata scurtcircuitului. Pentru a păstra continuitatea în desfășurarea celor expuse mai sus, este necesară redarea expresiilor pentru variația curentului și a pătratului densității de curent. Evoluția curentului de scurtcircuit produs de un grup generator special, este dată de relația cunoscută [3]:

$$i = \sqrt{2}\left[(I_i - I_a)\,e^{-\frac{t}{T_1}}\sin(\omega t - \alpha) + \right.$$

$$+ (I_a - I_d)\,e^{-\frac{t}{T_2}}\sin(\omega t - \alpha) +$$

$$\left. + I_d \sin(\omega t - \alpha) + I_i\,e^{-\frac{t}{T_0}}\sin\alpha\right], \qquad (1)$$

în care:

I_i este curentul alternativ, în regim subtranzitoriu, valoare efectivă, A;
I_a — curentul alternativ, în regim tranzitoriu, valoare efectivă, A;
I_d — curentul alternativ, de durată, valoare efectivă, A;
T_1 — constanta de timp corespunzătoare regimului subtranzitoriu, s;
T_2 — constanta de timp corespunzătoare regimului tranzitoriu, s;
T_0 — constanta de timp corespunzătoare componentei continue, s,

iar condiția obținerii valorii maxime a curentului de scurtcircuit este

$$\alpha = \varphi - \psi = \frac{\pi}{2}.$$

Trebuie menționat că atît unghiul φ de decalare a curentului față de tensiune cît și unghiul de fază, ψ, la stabilirea scurtcircuitului, imprimă o evoluție deosebită procesului de încălzire a înfășurărilor. În cazul unei încercări de scurtcircuit de scurtă durată, energia termică este absorbită de masa de cupru a înfășurărilor transformatorului fără ca în timpul acumulării, să se producă o cedare a căldurii către exterior. În aceste condiții, încălzirea înfășurărilor se obține din relația [1], [2], [3], [6]:

$$\theta = \frac{1}{\alpha}\left[\exp\frac{k_a\,\alpha\,\rho_0}{c_0\,\gamma}\int_0^t j^2\,dt - 1\right], \qquad (2)$$

în care:

α este coeficientul de temperatură a rezistivității, grd^{-1};
k_a — coeficientul creșterii rezistenței aparente a conductorului;
ρ_0 — rezistivitatea conductorului la 0 grd, $\Omega\,mm^2 \cdot m^{-1}$;
c_0 — căldura specifică a conductorului la 0 grd, Ws. gr^{-1}. grd^{-1};
γ — masa specifică a materialului conductorului gr. cm^{-3},;
j — densitatea de curent, A. mm^{-2};
θ — încălzirea conductorului, grd,

în care integrala pătratului densității de curent pe durata producerii scurtcircuitului, se obține în relația (1) sub forma [3]:

$$\int_0^t j^2\,dt = \frac{1}{s^2}\left[(I_i - I_a)^2\frac{T_1}{2}(1 - e^{-\frac{2t}{T_1}}) + \right.$$

$$+ (I_a - I_d)^2\frac{T_2}{2}(1 - e^{-\frac{2t}{T_2}}) + I_i^2\,T_0\,(1 - e^{-\frac{2t}{T_0}}) +$$

$$+ I_d^2\,t + (I_i - I_a)\,I_d \cdot 2\,T_1\,(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}) +$$

$$+ (I_a - I_d)\,I_d \cdot 2\,T_2(1 - e^{-\frac{t}{T_2}}) +$$

$$\left. + (I_i - I_a)\,(I_a - I_d)\cdot 2\,T_1'\,(1 - e^{-\frac{t}{T_1'}})\right], \qquad (3)$$

unde $\frac{1}{T_1'} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}$.

Este necesară cunoașterea evoluției încălzirii (supratemperaturii) înfășurărilor în cursul unui scurtcircuit, în raport cu durata lui. O încercare de scurtcircuit este, după cum s-a menționat, adiabatică, durata încercării fiind scurtă. După natura încercării (capacitatea de rupere, solicitarea dinamică sau termică), durata ei se poate extinde de la cîteva milisecunde, pînă la cîteva secunde iar viteza de creștere a încălzirii este foarte variată. Procesul termic în înfășurările transformatorului pe durata unui scurtcircuit este ilustrat în figura 1, în care se arată curba integralei pătratului densității de curent și în figura 2, unde se indică variația încălzirii înfășurării pe aceeași durată.

Curbele menţionate se referă la un transformator de 5 MVA pentru încercări de scurtcircuit.

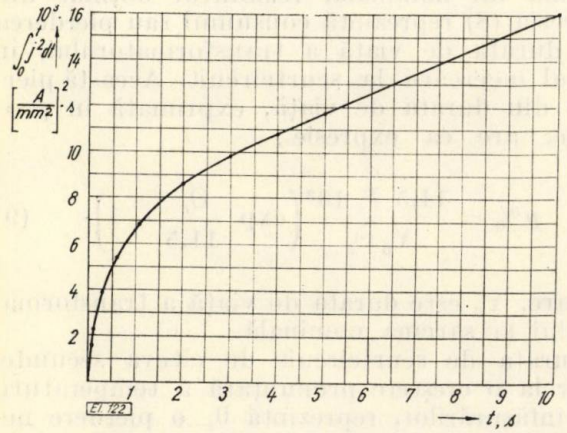


Fig. 1. Curba integralei pătratului densităţii de curent de scurtcircuit, funcţie de timp, la un tranformator special de 5 MVA.

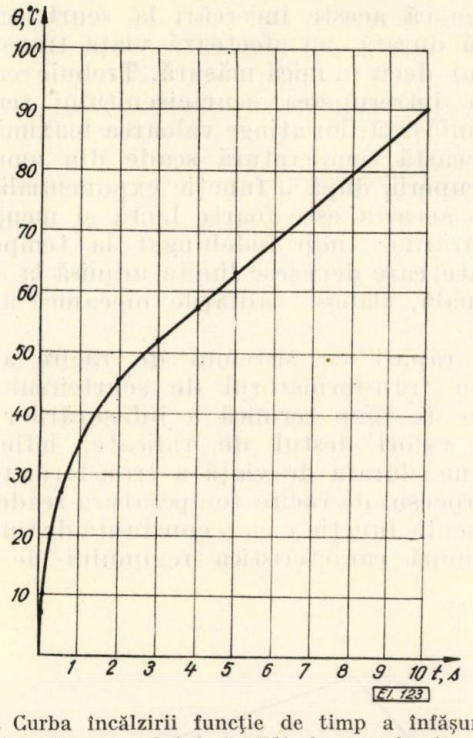


Fig. 2. Curba încălzirii funcţie de timp a înfăşurărilor transformatorului de 5 MVA, la scurtcircuit.

Determinarea pierderii din durata de viaţă a înfăşurărilor.

Legea lui Montsinger asupra duratei de viaţă [7].

$$Y = Y_0 2^{\frac{\Theta_1 - \Theta_2}{8}}, \qquad (4)$$

are la bază, durata de viaţă Y_0 a izolaţiei, în ipoteza că înfăşurările transformatorului funcţionează la sarcină nominală constant, la temperatura limită Θ_1 şi că temperatura admisibilă a mediului ambiant Θ_a nu variază. Dacă transformatorul funcţionează la o suprasarcină cu temperatura înfăşurărilor $\Theta_2 > \Theta_1$, durata de viaţă a transformatorului scade la valoarea Y.

Potrivit condiţiilor tehnice pentru transformatoare în ulei, în clasa A_0 de izolaţie a conductorului, încălzirea medie admisibilă de funcţionare a înfăşurărilor este de 65°C la o temperatură maximă a aerului de răcire de +40°C. Pentru aceste condiţii riguroase durata de viaţă a transformatorului, ar fi de circa 4,5 ani. Condiţia temperaturii medii anuale a aerului de + 20°C măreşte durata de viaţă a transformatorului la circa 25 ani.

Funcţionarea transformatorului destinat încercărilor de scurtcircuit, este cu totul diferită de aceea a unui transformator uzual. Solicitarea termică de scurtă durată a înfăşurărilor, timpul de răcire, foarte lung, necesar cedării energiei termice acumulate, pune problema unei utilizări raţionale a transformatorului. Acceptînd încălzirea maxim admisă menţionată a înfăşurărilor în cursul încercărilor, se naşte întrebarea dacă această valoare limită poate fi depăşită şi în ce măsură, în raport cu o durată de viaţă acceptabilă a transformatorului. Controlul unei limite superioare de încălzire lărgeşte posibilitatea de utilizare raţională a transformatorului.

Considerînd relaţia lui Montsinger pentru durata de viaţă a transformatorului uzual, în ulei,

$$Y = 4{,}5 \cdot 2^{\frac{110 - \Theta_k}{8}}, \qquad (5)$$

în care, Θ_k este temperatura maxima a înfăşurărilor în funcţionare continuă, se presupune că transformatorul funcţionează la o suprasarcină care ridică temperatura înfăşurării la $\Theta_k = 190$°C. Durata de viaţă a acestui transformator va fi de $136{,}8 \cdot 10^3$ s în funcţionare continuă. Raportată la durata de viaţă de 4,5 ani la 110°C la sarcină nominală; o secundă de funcţionare a înfăşurărilor, la o temperatură mărită cu 80°C, echivalează cu $2^{\frac{80}{8}}$ secunde de funcţionare la sarcina nominală, sau generalizat, se poate spune că o secundă de funcţionare la o temperatură mărită cu $\Delta\Theta_k$ peste temperatura limită, echivalează cu $T_{sn} = 2^{\frac{\Delta\Theta_k}{8}}$, (6) secunde la sarcina nominală.

Reluînd cazul transformatorului destinat încercărilor de scurtcircuit, s-a expus în figura 3 creşterea temperaturii înfăşurărilor de la 0 la $\Theta_n + \Theta_k$, în cursul unei încercări, pe durata $T_n + T_k$, după care circuitul de încercare a fost întrerupt. În continuare urmează răcirea înfăşurărilor după relaţia cunoscută

$$\Theta = \Theta'_k e^{-\frac{t}{T}} \qquad (7)$$

T fiind constanta de timp termică a înfăşurărilor transformatorului.

Se menţionează că în acest proces temperatura înfăşurărilor a atins în Θ_n temperatura limită admisibilă la sarcina nominală sau la

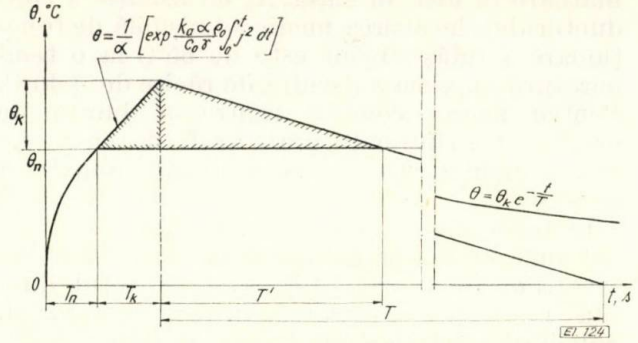


Fig. 3. Curbele temperaturilor în timpul scurtcircuitului şi după încetarea lui la înfăşurările unui transformator.

puterea de tip a transformatorului, pentru care este asigurată o răcire adecvată. Variaţia curbei în procesul de creştere a temperaturii se face după relaţia (2), porţiunea dintre punctele Θ_n şi Θ_k fiind practic rectilinie după trecerea cîtorva secunde (3 — 5 s) de la stabilirea scurtcircuitului.

Este evident că partea de funcţionare a înfăşurărilor situată deasupra temperaturii limită Θ_n, afectează în mod deosebit durata de viaţă a transformatorului. În consecinţă, în continuarea expunerii, se va considera numai această parte, aşa cum este indicat în figura 4. După cum reiese din figură, temperatura creşte de la 0 la Θ_k în timpul T_k. Temperatura Θ este o funcţie de timp şi poate fi exprimată prin relaţia

$$\Theta = t\frac{\Theta_k}{T_k}. \tag{7}$$

Durata scurtcircuitului de T_k secunde va corespunde, potrivit relaţiei (6), unui număr de secunde de sarcină nominală obţinut prin integrala :

$$\int_0^{T_k} 2^{\frac{\Theta}{8}}\,\mathrm{d}t = \int_0^{T_k} 2^{\frac{t\Theta_k}{8T_k}}\,\mathrm{d}t = \int_0^{T_k} \exp\left[\ln 2\,\frac{t}{8}\frac{\Theta_k}{T_k}\right]\mathrm{d}t,$$

şi efectuînd integrarea

$$\int_0^{T_k} \exp\frac{\Theta_k\, t}{11{,}5\ T_k}\,\mathrm{d}t = \left[\frac{1}{\frac{\Theta_k}{11{,}5\ T_k}}\cdot\exp\frac{\Theta_k\, t}{11{,}5\ T_k}\right]_0^{T_k} =$$

$$= \frac{11{,}5\ T_k}{\Theta_k}\left(\exp\frac{\Theta_k}{11{,}5} - 1\right). \tag{8}$$

Relaţia (8) permite, deci, obţinerea echivalentului de timp la sarcina nominală, a unui scurtcircuit în cursul căruia s-a ajuns la diferenţa de temperatură Θ_k în timpul T_k. Raportat la durata de viaţă a transformatorului la sarcina lui nominală, rezultatul obţinut din expresia (8) reprezintă consumul sau pierderea din durata de viaţă a transformatorului, în cursul încercării la scurtcircuit. Această pierdere din durata de viaţă, exprimată în procente, are ca expresie :

$$p\,\% = \frac{11{,}5\ T_k\ 10^2}{\Upsilon_0\ \Theta_k}\left(\exp\frac{\Theta_k}{11{,}5} - 1\right), \tag{9}$$

în care, Υ_0 este durata de viaţă a transformatorului la sarcina nominală.

Durata de scurtcircuit de cîteva secunde, chiar la o creştere pronunţată a temperaturii Θ_k a înfăşurărilor, reprezintă θ_k o pierdere neînsemnată din durata de viaţă a transformatorului şi cu atît mai puţin, la o încercare cu o durată de ordinul milisecundelor. S-ar putea deduce că aceste încercări la scurtcircuit de scurtă durată, nu afectează viaţa transformatorului decît în mică măsură. Trebuie remarcat că la întreruperea scurtcircuitului temperatura înfăşurărilor atinge valoarea maximă θ şi că această temperatură scade din momentul întreruperii, după o funcţie exponenţială. Scăderea aceasta este foarte lentă şi menţinerea înfăşurărilor timp îndelungat la temperaturi ridicate, care depăşesc limita admisă la sarcina nominală, slăbesc calităţile mecanice ale izolaţiei.

În raport cu sistemul de răcire adoptat pentru transformatorul de scurtcircuit, constanta de timp termică a înfăşurărilor poate avea valori destul de ridicate, influenţînd puternic durata de viaţă a transformatorului. În procesul de răcire temperatura scade după cunoscuta funcţie e cu o constantă de timp care determină caracteristica regimului de răcire.

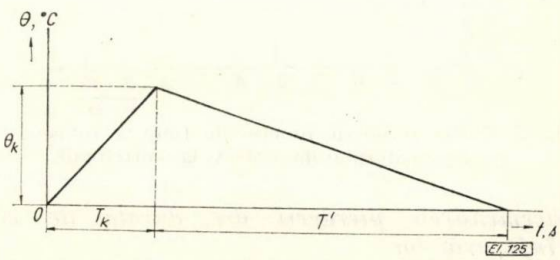


Fig. 4. Curbele temperaturilor care depăşesc temperatura limită nominală Θ_n, în timpul scurtcircuitului şi după încetarea lui, la acelaşi transformator.

În figura 4, în care sînt prezentate procesele de creştere şi descreştere ale temperaturilor în cursul unei încercări de scurtcircuit, abscisa reprezintă nivelul temperaturii limită a înfăşurărilor, la sarcina nominală. Descreşterea temperaturii de la valoarea Θ_k, după întreruperea scurtcircuitului, urmează curba expo-

nenţială de răcire. Eroarea este neglijabilă dacă locul acestei curbe se consideră tangenta ei, care determină constanta de timp termică a înfăşurărilor, dat fiind că această substituire se produce în partea superioară a curbei. Din examinarea figurilor 3 şi 4 se observă că diferenţa de temperatură Θ_k descreşte din momentul întreruperii scurtcircuitului pînă la timpul T' cînd se atinge temperatura limită Θ_n pentru sarcina nominală, deci, cînd această diferenţă de temperatură se anulează. O valoare oarecare a acestei diferenţe de temperatură Θ, va avea ca expresie, Θ fiind o funcţie de t:

$$\Theta_k - \Theta = t\frac{\Theta_k}{T'} \quad \text{şi} \quad \Theta = \Theta_k - t\frac{\Theta_k}{T'}. \tag{10}$$

Ca şi în cazul încălzirii, durata scăderii temperaturii de T' secunde, va corespunde unei durate de sarcină nominală care se obţine din integrala:

$$\int_0^{T'} 2^{\frac{\Theta}{8}}\,\mathrm{d}t = \int_0^{T'} 2^{\frac{\Theta_k}{8}-\frac{t\,\Theta_k}{8\,T'}}\,\mathrm{d}t,$$

şi efectuînd integrarea

$$\int_0^{T'} 2^{\frac{\Theta_k}{8}-\frac{t\,\Theta_k}{8\,T'}}\,\mathrm{d}t = \left[-\frac{T'8}{\Theta_k}\cdot\frac{2^{\frac{\Theta_k}{8}-\frac{t\,\Theta_k}{8\,T'}}}{\ln 2}\right]_0^{T'} =$$

$$= \frac{T'\,11{,}5}{\Theta_k}\left(\exp\frac{\Theta_k}{11{,}5}-1\right). \tag{12}$$

De remarcat analogia cu relaţia (8).

Pierderea, în procente, din durata de viaţă a transformatorului, după încetarea scurtcircuitului pînă la atingerea temperaturii limită admise a înfăşurărilor la sarcina nominală, poate fi determinată din relaţia:

$$p_r\% = \frac{11{,}5\;T'\,10^2}{Y_0\,\Theta_k}\left(\exp\frac{\Theta_k}{11{,}5}-1\right). \tag{13}$$

Raportul $\frac{T'}{T_k}$ poate atinge valori foarte mari, potrivit modului de răcire adoptat pentru înfăşurări. Se menţionează că valoarea lui T' se obţine din valoarea raportată a constantei de timp T corespunzătoare unei cedări de căldură la temperatura $\Theta_n + \Theta_k$ (fig. 3).

Echivalentul total pentru încălzire şi răcire în secunde de sarcină nominală are ca expresie:

$$\frac{11{,}5}{\Theta_k}\left(\exp\frac{\Theta_k}{11{,}5}-1\right)(T_k + T') \text{ durată din sarcina nominală,} \tag{14}$$

iar pierderea totală procentuală din durata de viaţă a transformatorului în cursul unei încercări de scurtcircuit se obţine din relaţia:

$$p_t\% = \frac{11{,}5\cdot 10^2}{Y_0\,\Theta_k}\left(\exp\frac{\Theta_k}{11{,}5}-1\right)(T_k + T'). \tag{15}$$

Din relaţia (15) se observă importanţa diferenţei de temperatură Θ_k şi a timpului de răcire T' pentru pierderea duratei de viaţă. Pentru a ilustra cele de mai sus, se vor expune cîteva exemple.

Se consideră cazul unui transformator special de încercare de 15 MVA ale cărui înfăşurări vor atinge, în cursul unei încercări de scurtcircuit, o temperatură de 180°C faţă de temperatura limită de 110°C, deci o diferenţă $\Theta_k = 70$°C. Încercarea de scurtă durată cu $T_k = 8$ s, necesită un timp $T' = 8000$ s pentru ca valoarea încălzirii să scadă pînă la temperatura limită de 110°C, după întreruperea scurtcircuitului. În această situaţie, pierderea din durata de viaţă raportată procentual la durata de viaţă $Y_0 = 4{,}5$ ani, sau circa $142 \cdot 10^6$ s, la sarcină nominală, va fi:

$$p_t\% = \frac{11{,}5\cdot 10^2}{142\cdot 10^6\cdot 70}\left(\exp\frac{70}{11{,}5}-1\right)(8 + 8\,000) = 0{,}39\%.$$

Rezultă din acest calcul că durata de viaţă a înfăşurărilor transformatorului va fi epuizată după:

$$\frac{100}{0{,}39} \cong 250 \text{ de încercări similare.}$$

Un număr atît de redus de încercări posibile, demonstrează severitatea solicitării termice a înfăşurărilor.

Pentru un alt exemplu, se va cita cazul transformatorului special de 5 MVA, tip uscat, pentru încercări de scurtcircuit care, pentru obţinerea unui curent necesitat pe o durată de 12,5 s ($T_k = 8{,}5$ s), va atinge o temperatură de 152°C deci, o diferenţă Θ_k de 47°C faţă de temperatura limită de 105°C la sarcină nominală. Timpul $T' = 6000$ s a fost calculat în raport cu constanta de timp termică a înfăşurărilor. Raportată la durata de viaţă $Y_0 = 142 \cdot 10^6$ s, pierderea procentuală pentru o singură încercare va fi:

$$p\% = \frac{11{,}5\cdot 10^2}{142\cdot 10^6\cdot 47}\left(\exp\frac{47}{11{,}5} - 1\right)\cdot 6008{,}5 = 0{,}06\%.$$

Adică, durata de viaţă a transformatorului va fi epuizată după

$$\frac{100}{0{,}06} = 1660 \text{ de astfel de încercări.}$$

Considerînd că se vor executa anual circa 100 de încercări similare, de altfel destul de

severe, durata de viaţă a acestui transformator va fi de circa 17 ani, durata care poate fi considerată ca acceptabilă. În calculul încălzirii s-a neglijat cedarea incipientă de căldură de la durata de 12,5 s a încercării.

Exemplele citate se referă la transformatoare alimentate de un generator special de 117,5 MVA deci, cu o variaţie a densităţii de curent de scurtcircuit determinată de reactanţele specifice ale generatorului [4]. Desigur că încercările care se execută cu ajutorul unor astfel de transformatoare sînt de natură diferită, majoritatea fiind de durată foarte scurtă. Dar chiar şi pentru aceste cazuri, verificarea temperaturilor înfăşurărilor în încercări, este absolut necesară. Prentru cazul cînd un astfel de transformator este alimentat de la o reţea cu o putere foarte mare, densitatea de curent de scurtcircuit a transformatorului este determinată aproape numai de tensiunea de scurtcircuit a acestuia. Creşterea densităţii este

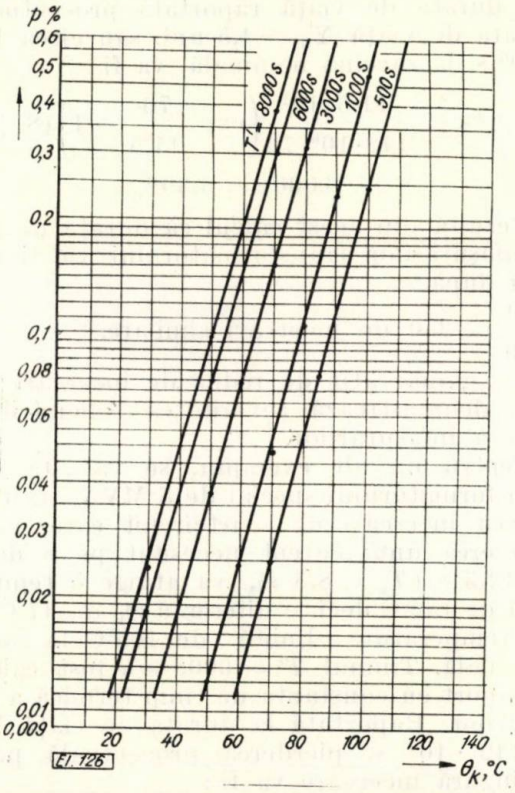


Fig. 5. Diagrama pierderilor din durata de viaţă a înfăşurărilor $p\,\% = f(\Theta_k)$, avînd ca parametru timpul de răcire T'.

rapidă. În această situaţie, chiar pentru o durată redusă de scurtcircuit, diferenţa de temperatură Θ_k poate atinge valori de peste 100°C, iar pierderea duratei de viaţă este importantă chiar pentru un timp de răcire T' de 1000 s:

$$p\,\% = \frac{11{,}5 \cdot 10^2}{142 \cdot 10^6 100}\left(\exp\frac{100}{11{,}5} - 1\right) \cdot 1000 = 0{,}48\,\%,$$

adică cu o durată de viaţă limitată la circa 200 de astfel de încercări. În figura 5 se expune diagrama pierderilor procentuale $p\,\% = f(\Theta_k)$, avînd ca parametru general timpul de răcire T'. Se observă că pentru aceeaşi valoare Θ_k, pierderea duratei de viaţă capătă valori considerabile pe măsură ce creşte timpul de răcire T'. Fără îndoială că, adoptarea unui mod de răcire mai eficient a înfăşurărilor pentru o evacuare rapidă a căldurii scurtează timpul T', ponderea, însă, în efectul de pierdere a duratei de viaţă o are diferenţa de temperatură Θ_k.

Posibilitatea de a efectua încercări la valori cît mai ridicate ale curentului de scurtcircuit este limitată de creşterea lui Θ_k. Dacă la transformatorul de tip uscat, o diferenţă importantă la temperatura Θ_k afectează numai durata de viaţă a înfăşurărilor, la transformatorul în ulei intervine şi limitarea lui Θ_k, impusă de temperatura de inflamare a uleiului.

Concluzii

În ansamblu, durata de viaţă a înfăşurărilor la transformatorul destinat încercărilor de scurtcircuit, poate fi apreciată sub două aspecte: al construcţiei şi al utilizării. Pentru realizarea unui astfel de transformator, în cadrul parametrilor impuşi, este necesar să se adopte o soluţie raţională, în care să se ia în consideraţie sursa de alimentare, frecvenţa de utilizare, modul de răcire şi în final, o durată de viaţă acceptabilă.

Utilizarea raţională a acestui utilaj nu poate fi efectuată decît în raport cu indicaţiile constructorului şi în condiţiile reale de funcţionare, cu determinarea încălzirii înfăşurărilor consultarea diagramei de pierderi din durata de viaţă şi ţinerea unei evidenţe statistice a încercărilor efectuate.

Bibliografie

[1] *Avramescu, A.* Über die Berechnung der Kurzschlusserwärmung. În: Elektrotechn. Z., 59, 1938, p. 980.

[2] *Biermans, I.* Hochspannung und Hochleistung. München, C. Hanser, 1949.

[3] *Hortopan, G.* Aparate electrice. Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1967.

[4] *Pesici, M.* Solicitarea termică succesivă a înfăşurărilor la transformatorul destinat încercărilor de scurtcircuit. În: Electrotehnica **20**, nr. 5, 1972, p. 176–181.

[5] *Richter, R.* Maşini electrice. vol. III. Transformatorul (trad. din lb. germană). Bucureşti, Edit. Tehnică, 1960.

[6] *Rüdenberg, R.* Fenomene tranzitorii în sistemele electroenergetice (trad. din lb. engleză.) Bucureşti, Editura Tehnică, 1959.

[7] *Vidmar, M.* Transformatorenkurzschlüsse. Vieweg. Braunschweig, 1940.

Intrat în redacţie la 5. XII.1972

Sporirea posibilităţilor de utilizare, a materialului rulant electric, prin slăbirea cîmpului inductor

NEGREANU AUREL — Timişoara

CZ 621.335:625.282 – 83

Slăbirea cîmpului inductor şi alegerea potrivită a raportului de transmitere dintre motoare şi osiile antrenate sînt elemente principale la realizarea unei zone cît mai largi şi convenabile de reglare şi utilizare a locomotivelor şi trenurilor electrice.

1. Poziţia caracteristicilor de tracţiune în funcţie de raportul de transmitere.

Din egalitatea expresiilor puterilor mecanică şi electrică rezultă că, utilizînd un anumit motor de tracţiune, produsul dintre forţa de tracţiune la obadă şi viteza de mers are o anumită valoare, determinată practic de curentul de sarcină I:

$$F_0 V = 3{,}6 z_m U I \cos\varphi \cdot \eta_m \eta_{tr} \qquad (1)$$

unde:

F_0 este forţa de tracţiune la obadă, N;
V — viteza de mers, km/h;
z_m — numărul motoarelor de tracţiune;
U — tensiunea aplicată la bornele motoarelor, V;
$\cos\varphi$ — factorul de putere, considerat 1,0;
η_m — randamentul motorului;
η_{tr} — randamentul transmisiei.

Considerînd curentul maxim I_{max} admis pentru motor ** şi curentul minim I_{min} determinat de viteza unghiulară maximă a motorului, înseamnă că, la tensiunea nominală în zona dintre cele două hiperbole de putere constantă UI_{max} şi UI_{min} (fig. 1) caracteristicile de tracţiune se pot aşeza în orice poziţie: în zona vitezelor mari şi a forţelor de tracţiune mici, curba F_{01}, sau invers, curba F_{03}. S-au presupus constante: $\cos\varphi$, η_m, η_{tr} şi U***.

Poziţia caracteristicilor, este determinată de raportul de transmitere i_t al reductorului, după cum rezultă din expresiile:

$$F_0 = z_m \frac{2}{D} i_t C_u \eta_{tr}, \qquad (2)$$

$$V = 1{,}8 D \frac{\Omega}{i_t},$$

unde:

D este diametrul roţilor motoare, m;
C_u — cuplul util, Nm;
Ω — viteza unghiulară a rotorului, s^{-1}.

Raportul de transmitere se consideră în sensul măririi cuplului la osia antrenată, deci $i_{t3} > i_{t1}$.

În concluzie, acelaşi motor poate fi utilizat pentru diferite regimuri de lucru (trenuri rapide — F_{01}; locomotive pentru trenuri de marfă — F_{02}; sau automotoare şi locomotive de manevră — F_{03}). Zonele de utilizare rezultă din figura 1. Se ţine seama însă, de limitarea forţei de tracţiune de aderenţă.

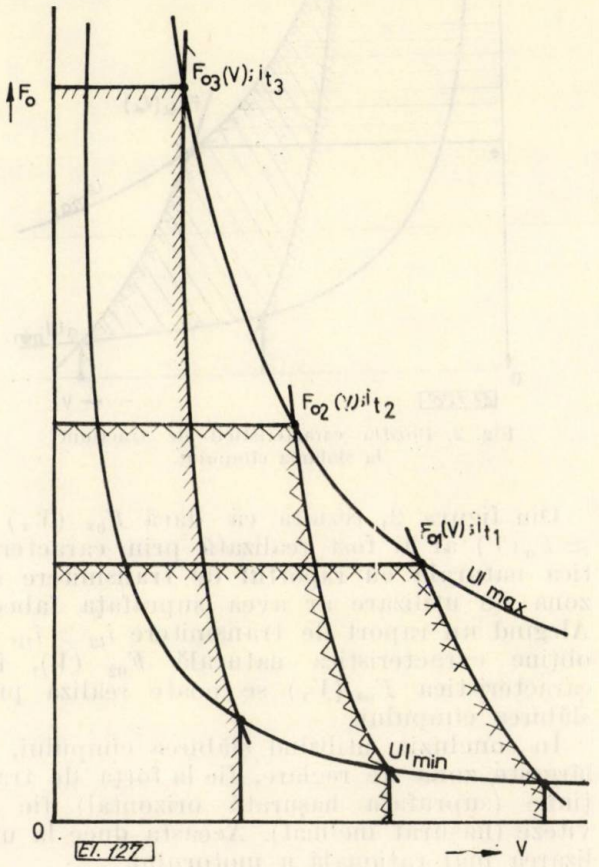


Fig. 1. Poziţia caracteristicilor de tracţiune, în funcţie de raportul de transmitere.

2. Poziţia caracteristicii de tracţiune, la cîmp slăbit.

La acelaşi curent de sarcină, prin slăbirea cîmpului Φ, viteza unghiulară a motorului de tracţiune (deci şi viteza de mers), creşte, iar cuplul (deci şi forţa de tracţiune), scade, deplasînd caracteristica de tracţiune în zona vite-

* Dr. ing. *A. Negreanu* este profesor la Facultatea de mecanică din Institutul politehnic — Timişoara.

** De obicei, la motoarele autoventilate $I_{max} \approx 1{,}7\ I_h$ şi la ventilate forţat $1{,}4\ I_h$, unde I_h este curentul uniorar.

*** Reglarea prin slăbirea cîmpului, se face după ce s-a consumat reglarea prin tensiune. U reprezintă tensiunea la bornele motorului, determinată de tensiunea reţelei, iar în cazul curentului redresat şi de căderile de tensiune din transformator şi bobina de netezire.

zelor mari, curba $F_{0\alpha}$ (fig. 2). Aceasta rezultă din expresiile :

$$\Omega_\alpha = \frac{U - R_{m\alpha} I}{k \Phi_\alpha}; \qquad V_\alpha = 1{,}8 D \frac{\Omega_\alpha}{i_t}; \quad (4)$$

$$C_{u\alpha} = \frac{U I}{\Omega_\alpha} \eta_{m\alpha} \eta_{tr}; \; F_0 = 3{,}6 z_m \frac{U I}{V_\alpha} \eta_{m\alpha} n_{tr}, \quad (5)$$

unde indicele α se referă la valorile obţinute la cîmp slăbit.

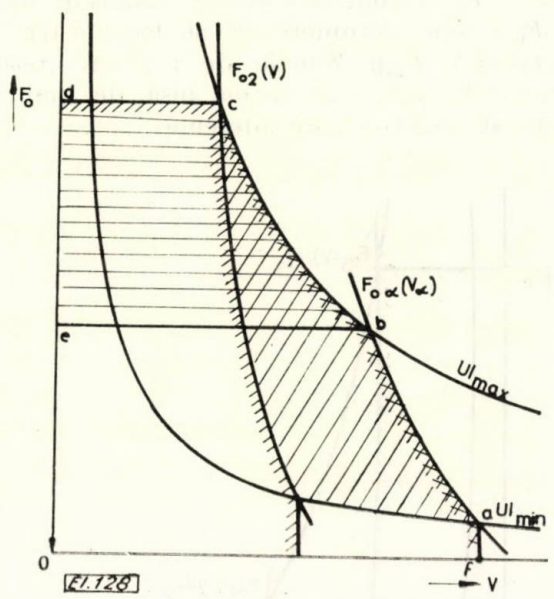


Fig. 2. Poziţia caracteristicii de tracţiune, la slăbirea cîmpului.

Din figura 2, rezultă că dacă $F_{0\alpha}$ $(V_\alpha) \approx$ $\approx F_0 (V)$ ar fi fost realizată prin caracteristica naturală cu raportul de transmitere i_{t1}, zona de utilizare ar avea suprafaţa fabeof. Alegînd un raport de transmitere $i_{t2} > i_{t1}$, se obţine caracteristica naturală F_{02} (V), iar caracteristica $F_{0\alpha}$ (V_α) se poate realiza prin slăbirea cîmpului.

În concluzie, utilizînd slăbirea cîmpului, se lărgeşte zona de reglare, fie la forţa de tracţiune (suprafaţa haşurată orizontal) fie la viteze (haşurat înclinat). Aceasta duce la utilizarea mai raţională a motorului.

3. Limitarea slăbirii cîmpului inductor.

La motoarele de tracţiune fără înfăşurări compensatoare, datorită reacţiei indusului, valoarea minimă a fluxului, caracterizată prin coeficientul de slăbire, este de ordinul $\alpha_{min} \approx$ $\approx 0{,}6 \ldots 0{,}7$ *. În cazul motoarelor cu înfăşurări compensatoare, valoarea minimă a fluxului, este determinată de θ_{smin}, valoarea minimă a solenaţiei rezultante a inductorului (fig. 3). Coeficientul de slăbire minim, este dat de relaţia :

$$\alpha_{min} \geqslant \frac{\lambda_p}{z_k} \frac{\theta_r}{\theta_s}, \quad (6)$$

unde :

λ_p este coeficientul de acoperire a polilor principali ;
θ_r — solenaţia datorită reacţiei indusului (determinată de pătura de curent), A ;
θ_s — solenaţia înfăşurării inductoare, A ;
z_k — numărul ancoşelor înfăşurării compensatoare.

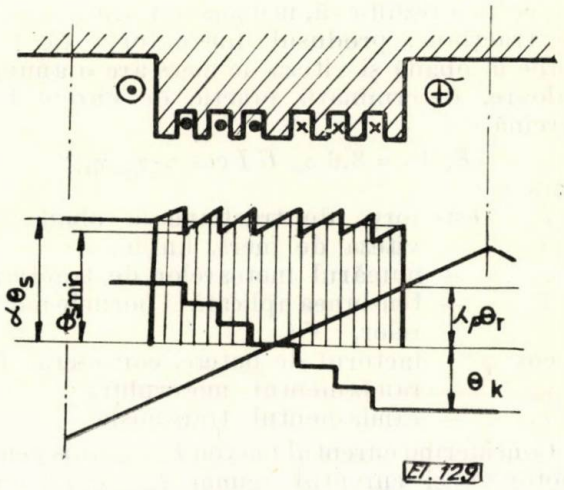


Fig. 3. Solenaţiile la motoarele cu înfăşurări compensatoare.

Cea mai mare slăbire de cîmp realizată a ajuns la $\alpha_{min} = 0{,}24$.

4. Alegerea raportului de transmitere.

Alegerea potrivită a raportului de transmitere, permite utilizarea raţională a motorului de tracţiune. Raportul de transmitere este determinat de punctul de funcţionare impus.

La trenurile magistrale, în condiţii de mers în aliniament şi palier, se impune tonajul şi viteza de mers. Din aceasta rezultă punctul de funcţionare m, la intersecţia rezistenţei R_t (V) la înaintarea trenului şi viteza impusă V_m (fig. 4). Admiţînd slăbirea α_m suportată de motor, acest punct face parte din caracteristica vitezei unghiulare Ω_α(I) respectiv V_α (I), la cîmp slăbit (fig. 5).

Din relaţia (1), se obţine expresia de calcul a curentului necesar pentru antrenarea unui motor :

$$I_m = \frac{F_{0m} V_m}{3{,}6 z_m U \cos \varphi \eta_m \eta_{tr}}, \text{ A.} \quad (7)$$

După caracteristica vitezei unghiulare Ω_α (I) (fig. 5) curentul I_m corespunde vitezei unghiu-

* Coeficientul minim de slăbire, se poate calcula, orientativ, cu relaţia $\alpha_{min} = \lambda_p \theta_r / \theta_s$. Iar $\lambda_p \approx 0{,}6 \ldots 0{,}7$ şi $\theta_r / \theta_s \approx 1$.

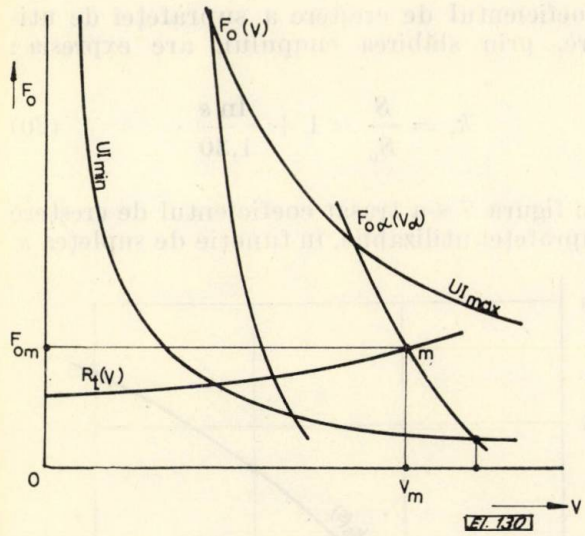


Fig. 4. Parametri pentru determinarea raportului de transmitere.

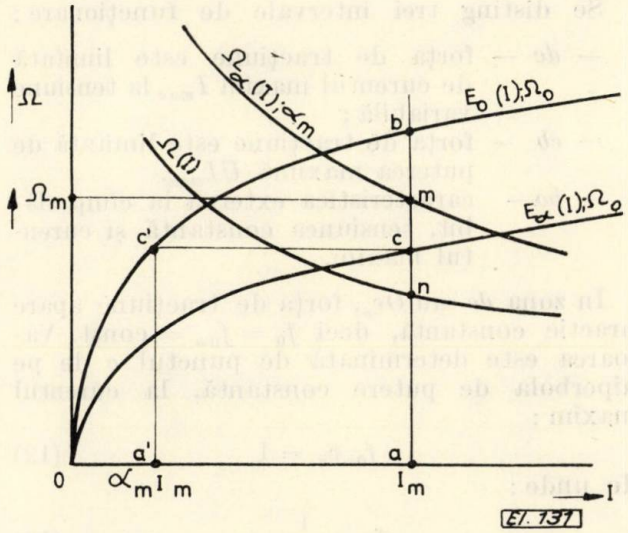


Fig. 5. Determinarea coeficientului de slăbire a cîmpului.

lare Ω_m. Introducînd valoarea rezultată în relaţia (4), se obţine expresia de calcul a raportului de transmitere :

$$i_t = 1{,}8\ D\frac{\Omega_m}{V_m}. \tag{8}$$

Dacă, după caracteristica vitezei unghiulare la cîmp slăbit, rezultă $\alpha_m > 0{,}9\ \Omega_{max}$, sîntem nevoiţi să admitem $\Omega_m \approx (0{,}9 \ldots 0{,}95)\ \Omega_{max}$, din motive de siguranţă.

În cazul că în această situaţie nu se alege sau nu rezultă α_{min} suportat de motor, trebuie determinată valoarea lui α_m. Pentru aceasta se trasează caracteristica de mers în gol, de preferat ridicată pe stand (sau universală, pentru calcule aproximative). Din raportul t.e.m. şi vitezelor unghiulare :

$$\frac{E_\alpha(I)}{E_0(I)} = \frac{k\,\Phi_\alpha\,\Omega_0}{k\,\Phi\,\Omega_0} \text{ şi } \frac{k\,\Phi_\alpha\,\Omega_\alpha}{k\,\Phi\,\Omega} = \frac{U - R_{m\alpha}\,I}{U - R_m\,I} \approx 1,$$

se obţine :

$$\frac{E_\alpha}{E_0} = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \approx \frac{\Omega}{\Omega_\alpha}, \tag{9}$$

sau :

$$E_\alpha(I) \approx \frac{\Omega\,(I)}{\Omega_\alpha(I)}\,E_0(I), \tag{10}$$

sau după figura 5 :

$$ac = \frac{an}{am}\,ab. \tag{11}$$

Determinînd pe a', după cum se arată în figura 5, rezultă :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_m\,I_m}{I_m} = \frac{Oa'}{Oa}.$$

În rampe mari şi la începutul demarajului, punctul de funcţionare nu apare pe caracteristica de cîmp slăbit, ci de obicei pe caracteristici corespunzătoare diferitelor tensiuni aplicate la borne. În aceste cazuri, problema raportului de transmitere se tratează după alte considerente.

5. Gradul de lărgire a zonei de utilizare.

Pentru aprecierea gradului de sporire a zonei de utilizare a vehiculelor electrice, prin slăbirea cîmpului, în figura 6 s-a reprezentat dia-

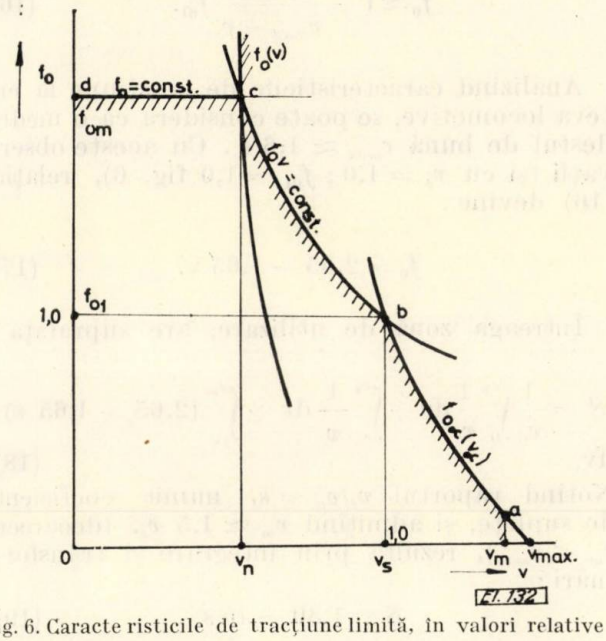


Fig. 6. Caracteristicile de tracţiune limită, în valori relative

grama din figura 2, în valori relative. Ca mărimi de referinţă s-au ales valorile forţei de tracţiune şi vitezei, în punctul *b*, adică la puterea UI_{max}.

Se disting trei intervale de funcţionare:

- *dc* — forţa de tracţiune este limitată de curentul maxim I_{max} la tensiune variabilă;
- *cb* — forţa de tracţiune este limitată de puterea maximă UI_{max}.
- *ba* — caracteristica externă la cîmp slăbit, tensiunea constantă şi curentul maxim.

În zona *dc* sau Ov_n, forţa de tracţiune apare practic constantă, deci $f_0 = f_{0m} = \text{const.}$ Valoarea este determinată de punctul *c* de pe hiperbola de putere constantă, la curentul maxim:

$$f_{0m} v_n = 1 \tag{12}$$

de unde:

$$f_0 = \frac{1}{v_n}. \tag{13}$$

În zona *cb* sau $v_n v_s$, hiperbola de putere constantă are expresia:

$$f_0 v = 1 \tag{14}$$

de unde:

$$f_0 = \frac{1}{v}. \tag{15}$$

În zona *ba* sau $v_s v_m$, eroarea nu este mare dacă liniarizăm caracteristica de tracţiune:

$$f_0 \approx 1 - \frac{v - v_s}{v_{max} - v_s} f_{01}. \tag{16}$$

Analizînd caracteristicile de tracţiune la cîteva locomotive, se poate considera ca o medie destul de bună $v_{max} \approx 1{,}6\ v_s$. Cu aceste observaţii (şi cu $v_s = 1{,}0$; $f_{01} = 1{,}0$ fig. 6), relaţia (16) devine:

$$f_0 = 2{,}65 - 1{,}65\ v. \tag{17}$$

Întreaga zonă de utilizare, are suprafaţa:

$$S = \frac{1}{v_n}\int_0^{v_n} \frac{1}{v}\,dv + \int_{v_n}^{v_s} \frac{1}{v}\,dv + \int_{v_s}^{v_m} (2{,}65 - 1{,}65\ v)\,dv. \tag{18}$$

Notînd raportul $v_s/v_n = s$, numit coeficient de supleţe, şi admiţînd $v_m \approx 1{,}5\ v_s$, (deoarece $v_m < v_{max}$), rezultă prin integrare şi transformări:

$$S = 1{,}30 + \ln s. \tag{19}$$

În cazul că nu se utilizează slăbirea cîmpului, $s = v_s/v_n = 1$. Deci:

$$S_0 = 1{,}30.$$

Coeficientul de creştere a suprafeţei de utilizare, prin slăbirea cîmpului, are expresia:

$$k_s = \frac{S}{S_0} = 1 + \frac{\ln s}{1{,}30}. \tag{20}$$

În figura 7 s-a trasat coeficientul de creştere a suprafeţei utilizabile, în funcţie de supleţea *s*.

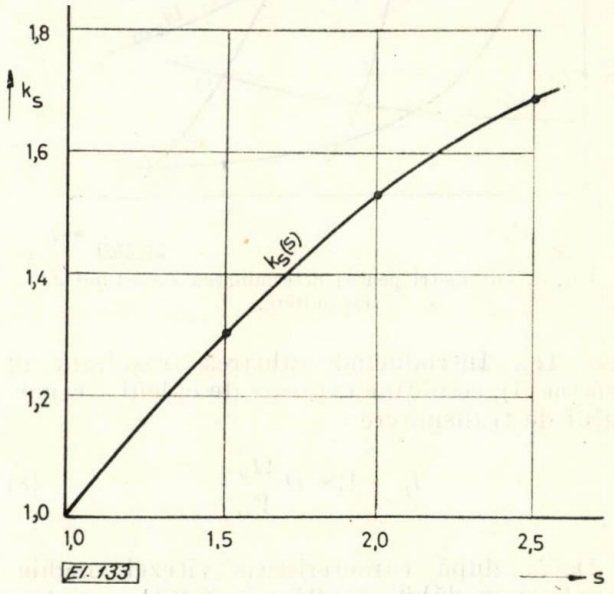


Fig. 7. Coeficientul de creştere a suprafeţei utilizabile, în funcţie de supleţe.

Creşterea forţei de tracţiune maxime, rezultă din relaţia (13):

$$f_{0m} = \frac{1}{v_m} = \frac{v_s}{v_n}\frac{1}{v_s} = s \text{ (avînd } v_s = 1) \tag{21}$$

deci în aceeaşi măsură cu supleţea.

La acelaşi curent de sarcină, după relaţiile (9) şi (4) vitezele de mers sînt aproape invers proporţionale cu fluxurile:

$$\frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \approx \frac{\Omega}{\Omega_\alpha} = \frac{V}{V_\alpha} = \frac{v_n}{v_s} = \frac{1}{s}. \tag{22}$$

Expresia caracteristicii magnetice, în valori relative este la motorul nesuntat:

$$i = \varphi + \varphi^7, \tag{23}$$

iar la motorul şuntat:

$$\alpha i = \varphi_\alpha + \varphi_\alpha^7 \tag{24}$$

Din raportul lor se obţine:

$$\alpha = \frac{\varphi_\alpha}{\varphi}\frac{1 + \varphi_\alpha^6}{1 + \varphi^6} \approx \frac{1}{s}\frac{1 + \varphi_\alpha^6}{1 + \varphi^6}$$

de unde:

$$s = \frac{1}{\alpha}\frac{1+\varphi_\alpha^6}{1+\varphi^6}. \qquad (25)$$

Deoarece $1 + \varphi_\alpha^6 < 1 + \varphi^6$, micşorarea lui α duce la creşterea lui s.

Variaţia lui s, cu variaţia lui α, rezultă din figura 8 în care s-a trasat variaţia $k_s(\alpha)$, rezultată din diagramele $k_s(s)$ şi $s(\alpha)$.

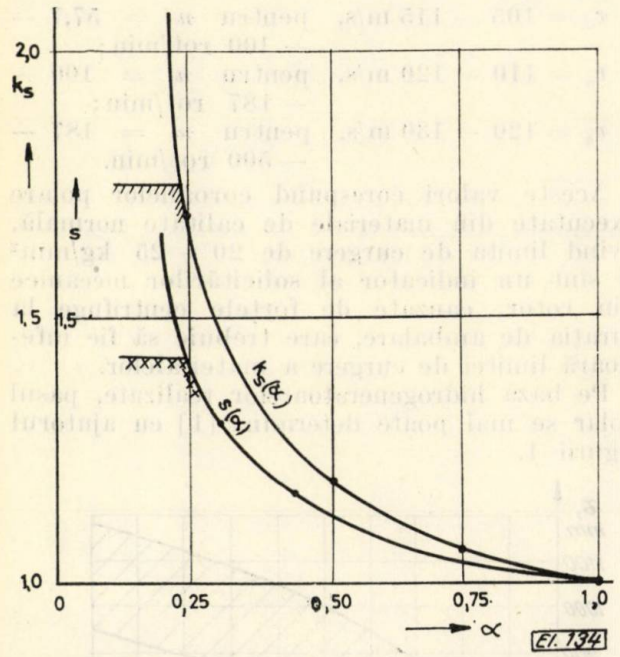


Fig. 8. Coeficientul de creştere a suprafeţei utilizabile şi suplеţea, în funcţie de coeficientul de slăbire a cîmpului.

Slăbirea maximă de cîmp sau valoarea minimă a coeficientului de slăbire, se poate deduce din considerentul că viteza unghiulară maximă admisă, este de aproximativ două ori viteza unghiulară uniorară. Din raportul:

$$\frac{k\,\Phi_{\alpha\,min}\,\Omega_{\alpha\,max}}{k\,\Phi_h\,\Omega_h} = \frac{k\,\Phi_{\alpha\,min}\,2\,\Omega_h}{k\,\Phi_h\,\Omega_h} = \frac{U - R_{m\alpha}I}{U - R_m I} \approx 1$$

rezultă:

$\Phi_{\alpha\,min} = 0{,}5\,\Phi_h$ respectiv $\varphi_{\alpha\,min} \approx 0{,}5\,\varphi_h$, unde indicele h se referă la valorile uniorare, iar $R_{m\alpha}$ este rezistenţa motorului şuntat.

Introducînd în relaţia (24), $\varphi_{\alpha\,min} = 0{,}5\,\varphi_h$ şi $i_h = 2{,}2$, rezultă $\alpha_{min} \approx 0{,}24$, dat în literatură.

Aceasta limitează coeficientul de supleţe la $s = 1{,}42$, iar coeficientul de creştere a suprafeţei de utilizare la $k_s = 1{,}75$.

Concluzii

- Slăbirea cîmpului, duce la lărgirea zonei de tracţiune permite mărirea forţei de tracţiune la viteze mici şi realizarea unor viteze mai mari.
- Slăbirea cîmpului este însă limitată de construcţia motorului, de limita de slăbire şi de viteza unghiulară maximă.
- Prin slăbirea cîmpului, la acelaşi curent de sarcină, se realizează forţe de tracţiune mai mici. Deci slăbirea este limitată şi de condiţiile de tracţiune impuse.
- Prin slăbirea continuă a cîmpului, motorul de tracţiune funcţionează la putere constantă, în întreaga zonă de slăbire. Şi aceasta înseamnă utilizare mai raţională.
- Slăbirea convenabilă a cîmpului şi alegerea potrivită a raportului de transmitere, duce la posibilitatea utilizării raţionale a vehiculelor cu motoare electrice.

Bibliografie

[1] *Joffe, A. B.* Elektrische Lokomotivantriebe. Berlin, 1962.
[2] *Cetin, I.* Induktivität bei Gleich, Wechsel und Mischstrom. În: Archiv für Elektrotechnik, vol. 50, nr. 2, 1965 p. 105–111.

Intrat în redeţie la 6.III.1972

PENTRU TÎNARUL INGINER

Determinarea dimensiunilor principale ale momentului de volan și a numărului de spire pe faza optimă pentru hidrogeneratoarele verticale sincrone

MIHAI OPASCHI* — Timișoara

CZ 621.313.322 – 82

Producția de hidrogeneratoare verticale mari a căpătat, în ultimul timp, o mare dezvoltare la noi în țară, acestea intrînd în dotarea marilor hidrocentrale, printre care cea de la Porțile de Fier. Datorită amploarei pe care a luat-o s-a considerat utilă expunerea unor probleme legate de determinarea dimensiunilor principale ale hidrogeneratoarelor, cunoscute din literatura de specialitate [1], [2]. O serie de abace întocmite de autor vor ușura mult soluționarea problemei.

Dimensiunile principale ale hidrogeneratorului sînt diametrul interior al statorului D și lungimea fierului activ al statorului L. Alegerea diametrului D este limitată pe de o parte de solicitările mecanice din coroana polară și poli, la turația de ambalare, iar pe de altă parte este limitată de condițiile de uzinare și transport. Determinarea lui D se poate face pe două căi și anume, pe baza vitezei periferice admise la turația de ambalare v_a, sau pe baza constantei mașinii, C, dar în ambele cazuri trebuie să asigure momentul de volan impus, GD^2.

În primul caz se determină întîi pasul polar τ, pentru care se recomandă să se adopte valoarea maximă posibilă, știind că astfel se obține o ventilație bună, un moment de volan ridicat, dispersie mică între poli și o ușoară dispoziție a înfășurării de excitație.

Cînd frecvența este 50 Hz, pasul polar se determină cu ajutorul unei relații foarte simple :

$$\tau = \frac{v_a}{K_a} \qquad (1)$$

unde v_a este exprimat în m/s, iar τ în cm și este cuprins în general în domeniul 370 — 800 mm.

Pentru viteza periferică se recomandă [1] următoarele valori, în funcție de diametrul interior al statorului :

$v_a = 120 - 145$ m/s, în cazul coroanelor polare din segmenți ștanțați ($D > 5$ m);

$v_a = 150 - 170$ m/s, în cazul coroanelor polare forjate sau din discuri ($D < 5$ m), în funcție de turație [2];

$v_a = 105 - 115$ m/s, pentru $n = 57{,}7 - 100$ rot/min;

$v_a = 110 - 120$ m/s, pentru $n = 100 - 187$ rot/min;

$v_a = 120 - 130$ m/s, pentru $n = 187 - 500$ rot/min.

Aceste valori corespund coroanelor polare executate din materiale de calitate normală, avînd limita de curgere de 20 — 25 kg/mm² și sînt un indicator al solicitărilor mecanice din rotor, cauzate de forțele centrifuge la turația de ambalare, care trebuie să fie inferioară limitei de curgere a materialelor.

Pe baza hidrogeneratoarelor realizate, pasul polar se mai poate determina [1] cu ajutorul figurii 1.

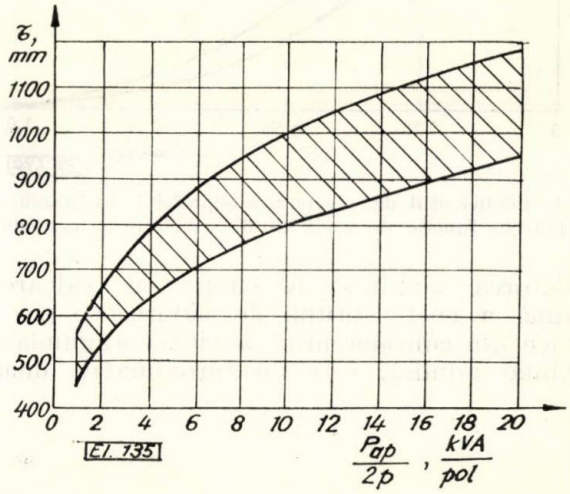


Fig. 1. Pasul polar în funcție de puterea pe pol

Valoarea preliminară a pasului polar, în funcție de turație și raportul de ambalare, se poate stabili cu ajutorul figurii 2.

Ținînd seama de condițiile de uzinare și transport, diametrul interior al statorului se limitează la 16 m.

În cel de al doilea caz, diametrul D se determină cu ajutorul constantei C, a mașinii care se deduce din relația de bază a puterii, avînd expresia cunoscută :

$$C = \frac{D^2 \cdot L \cdot n}{P_{ap}} = \frac{1}{K \cdot A \cdot B_\delta}, \frac{\text{cm}^3}{\text{kVA}}, \qquad (2)$$

unde D, se dă în cm, L în cm, P_{ap} în kVA și n în rot/min.

* Ing. *M. Opaschi* lucrează la Institutul de proiectare de echipamente energetice — Reșița.

Constanta mașinii indică gradul de utilizare volumetrică a mașinii, raportat la puterea aparentă nominală și se poate alege preliminar din figura 3 sau din figura 4.

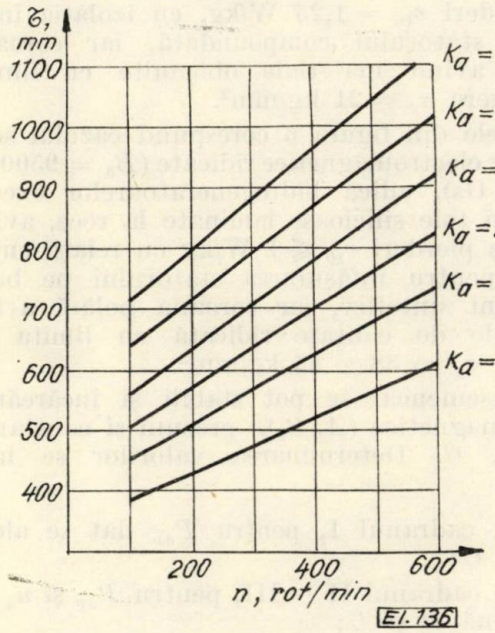


Fig. 2. Alegerea pasului polar în funcție de n și K_a.

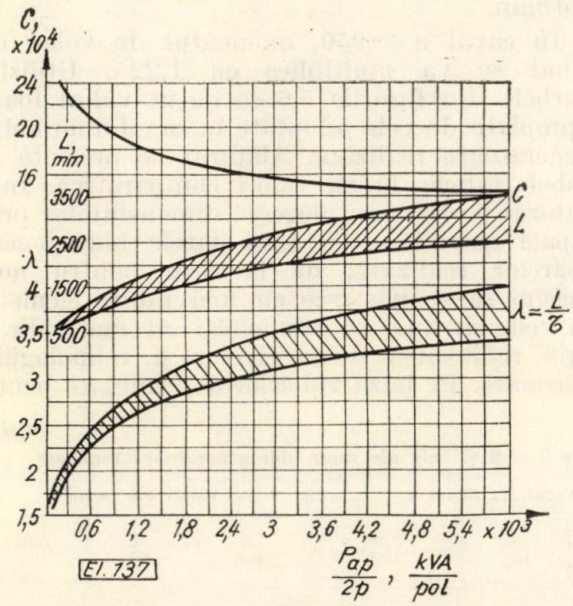


Fig. 3. Determinarea valorilor pentru C, L, λ în funcție de puterea aparentă pe pol la hidrogeneratoarele verticale

Este de menționat că o dată cu creșterea puterii hidrogeneratoarelor, construcțiile moderne bine ventilate permit mărirea solicitărilor A, B_δ. Ca urmare, C crește cu creșterea puterii.

După stabilirea principalei dimensiuni este necesar să se determine valoarea momentului de volan GD^2 rezultat. De obicei, momentul de volan se alege în funcție de turație, care apare la căderea bruscă a sarcinii, în ipoteza funcționării regulatorului de turație al turbinei. Variația de turație la căderea bruscă a sarcinii se admite în funcție de tipul turbinei,

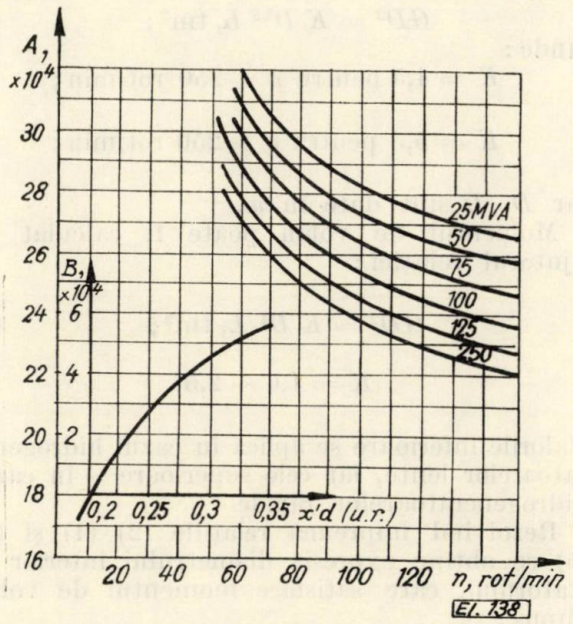


Fig. 4. Constanta mașinii; $C = \frac{D^2Ln}{P_{ap}} = A - B$

precum și de suprapresiunile ce apar în conductele de aducțiune. Uneori, pe lîngă acest considerent, momentul de volan se alege ținînd seama și de stabilitatea dinamică a sistemului la mersul în paralel, în cazul avariilor pe linia de transport, cu protecția rapidă în stare de funcționare. În acest caz constanta de inerție este de circa 1,5—2 ori mai mare decît în cazul obișnuit.

Moment de volan mare se poate obține pe seama majorării diametrului rotorului, care este eficace și recomandabilă, sau pe seama majorării greutății rotorului, care este puțin eficace și nerecomandabilă. Constanta de inerție a hidrogeneratorului, determinată de momentul de volan, în cazul unei variații de turație admise, depinde de constanta de închidere a aparatului director. Momentul de volan necesar se poate determina cu ajutorul relației:

$$GD^2 = \frac{T_i}{27,3} \frac{P_{ap}}{\left(\frac{n_n}{100}\right)^2} \text{ tm}^2, \qquad (3)$$

În funcție de puterea hidrogeneratorului, se poate alege constanta de inerție după cum urmează:

$T_i = 2,5—5$ s pentru $P_{ap} = 1000 - 10.000$ kVA;

$T_i = 4 - 7$ s pentru $P_{ap} > 10.000$ kVA.

Momentul de volan, ce poate fi realizat în cazul dimensiunilor principale stabilite, se poate calcula cu relaţia :

$$GD^2 = K\,D^{3,5}\,L,\ \text{tm}^2; \qquad (4)$$

unde :

$K = 4{,}5$ pentru $n < 250$ rot/min ;

$K = 5{,}5$ pentru $n > 250$ rot/min ;

iar D, L sînt date în m.

Momentul de volan poate fi calculat cu ajutorul relaţiei :

$$GD^2 = K\,D^4 \cdot L,\ \text{tm}^2; \qquad (5)$$

$$K = 1{,}6 - 2{,}5.$$

Valorile inferioare se aplică în cazul hidrogeneratoarelor lente, iar cele superioare — în cazul hidrogeneratoarelor rapide.

Rezolvînd împreună relaţiile (2) (4) şi (2) (5) se obţine expresia diametrului interior al statorului, care satisface momentul de volan impus :

$$D = (321 - 365)\cdot 10^3 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{GD^2 \cdot n}{C \cdot P_{ap}}\right)^2},\ \text{cm}; \qquad (6)$$

$$D = (63 - 79)\cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{GD^2 \cdot n}{G \cdot P_{ap}}},\ \text{cm}; \qquad (7)$$

unde, GD^2 se dă în tm^2, n în rot/min, c în cm^3/kVA şi P_{ap} în kVA. Valorile mici din paranteză se adoptă în cazul hidrogeneratoarelor rapide, iar cele mari — în cazul celor lente.

Determinarea expeditivă a dimensiunilor principale D, L şi a momentului de volan corespunzător GD^2, ca valori preliminare sau date pentru oferte, se poate face cu ajutorul curbelor din figurile 5 şi 6, construite de autor [4].

Curbele din figura 5 corespund cazului solicitărilor electromagnetice normale ($B_\delta = 6000 - 8000$ Gs), adică hidrogeneratoarelor executate din tole silicioase laminate la cald avînd cifra de pierderi $v_{10} = 1{,}25$ W/kg, cu izolaţia înfăşurării statorului compoundată, iar coroana polară avînd materiale obişnuite cu limita de curgere $\sigma_c = 21$ kg/mm^2.

Curbele din figura 6 corespund cazului solicitărilor electromagnetice ridicate ($B_\delta = 9500 - 11.000$ Gs), adică hidrogeneratoarelor executate din tole silicioase laminate la rece, avînd cifra de pierderi $v_{10} \leqslant 1$ W/kg cu relaţii superioare pentru înfăşurarea statorului pe bază de răşini sintetice, iar coroana polară avînd materiale de calitate ridicată cu limita de curgere $\sigma_c = 38 - 55$ kg/mm^2.

De asemenea, se pot stabili şi încărcările electromagnetice (A, B_δ), precum şi constanta maşinii, C. Determinarea valorilor se face astfel :

— în cadranul I, pentru P_{ap} dat se alege A, B_δ, C ;

— în cadranul II — III, pentru P_{ap} şi n_n se determină D şi L ;

— în cadranul IV, pentru D şi L ales se determină GD^2 realizat de rotor la $n < 250$ rot/min.

În cazul $n > 250$, momentul de volan obţinut se va multiplica cu 1,225. Utilizînd curbele din figurile 5,6 se obţin valori foarte apropiate de cele adoptate în cazul unor hidrogeneratoare realizate. Alăturat se prezintă un tabel (tabela 1) cu valori comparative. Indicatorul de bază în alegerea dimensiunilor principale trebuie să fie însă datele hidrogeneratoarelor realizate, de la care pentru noile maşini să se păstreze cît mai multe elemente în vederea unei economicităţi cît mai ridicate prin refolosirea dispozitivelor şi tehnologiilor existente. Pe baza valorilor determinate pentru

Tabela 1

Valori comparative pentru D, L, GD² determinate din figurile 5 şi 6 şi cele ale unor hidrogeneratoare realizate

P_{ap} kVA	n rot/min	Valori adoptate			Valori din figura 5.			Valori din figura 6.		
		D mm	L mm	GD^2 tm^2	D mm	L mm	GD^2 tm^2	D mm	L mm	GD^2 tm^2
6 500	214	3 750	650	323	4 000	650	360	—	—	—
8 500	250	3 300	1 000	300	3 400	1 000	300	—	—	—
125.00	136	5 600	950	1 980	5 500	950	1 800	—	—	—
25 000	167	5 800	1000	2 300	5 600	1 000	2 000	—	—	—
25 500	300	3 600	1 250	550	4 300	1 250	500	3 700	1 250	520
26 500	250	4 600	1 100	1 140	4 600	1 100	1 000	—	—	—
30 000	100	8 000	1 050	7 000	8 700	1 000	9 000	—	—	—
61 000	428	3 500	1 900	—	3 800	1 900	1 000	—	—	—
66 000	375	4 650	2 100	1 200	4 300	2 000	1 300	—	—	—
83 000	600	3 000	1 800	500	—	—	—	3 000	1 800	350
91 000	428	3 500	2 000	700	—	—	—	3 500	2 000	700
117 650	62	14 300	1 700	80 000	13 800	1 700	75 000	12 800	1 700	58 000
185 000	375	4 600	2 400	2 700	5 800	2 400	5 000	4 800	2 400	2 800
190 000	71,5	14 190	1 800	82 000	15 600	1 800	120 000	13 700	1 800	60 000

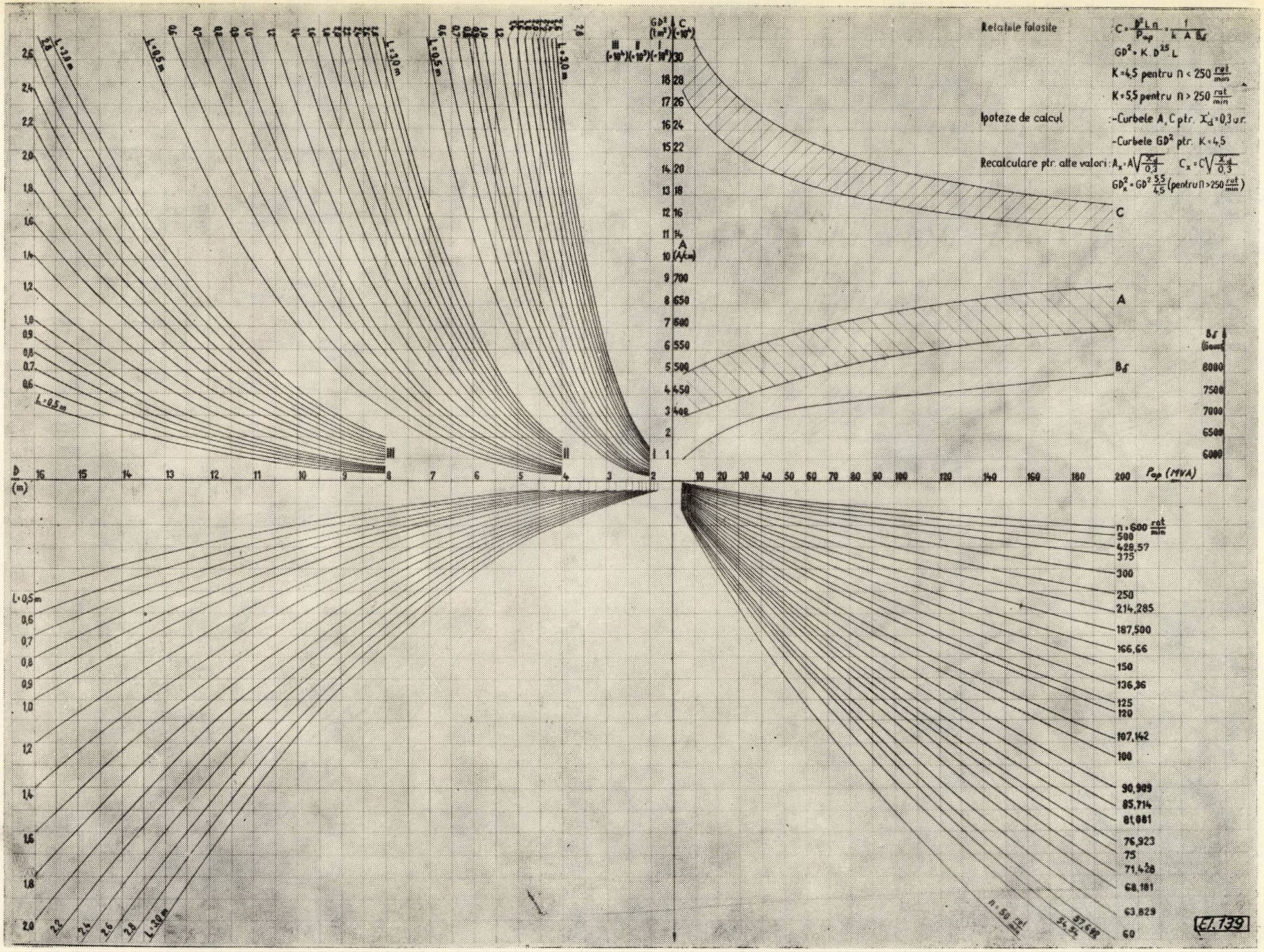


Fig. 5. Determinarea dimensiunilor principale D, L ale hidrogeneratoarelor verticale sincrone și a momentului de volan aferent GD^2 în ipoteza valorilor date pentru A, B_δ și C.

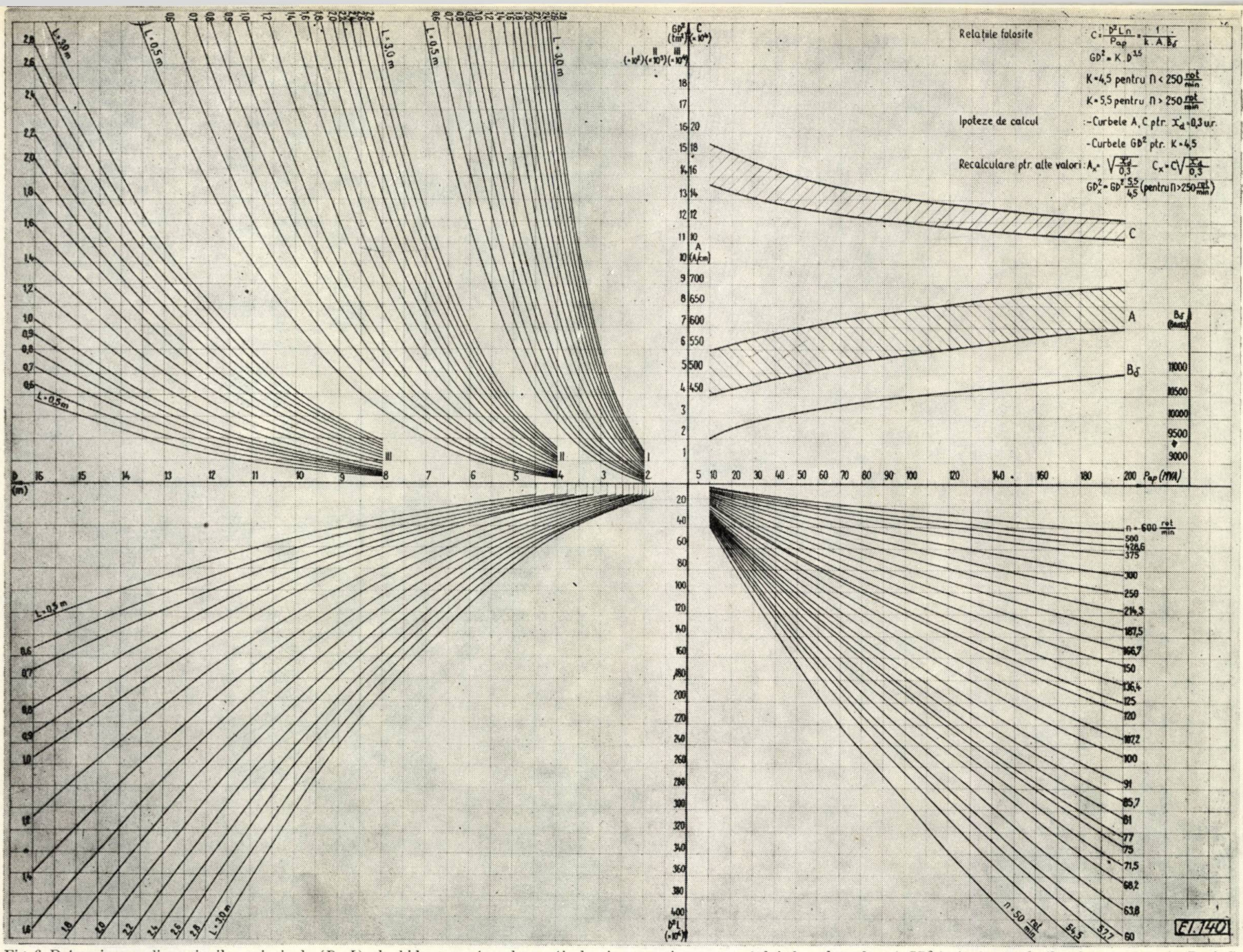


Fig. 6. Determinarea dimensiunilor principale (D, L) ale hidrogeneratoarelor verticale sincrone și a momentului de volan aferent GD^2 în ipoteza valorilor date pentru A, B_δ și C.

τ sau D, se poate calcula lungimea L cu ajutorul relaţiilor :

$$L = \frac{C \cdot P_{ap}}{D^2 \cdot n}, \text{ cm}; \qquad (8)$$

$$L = \frac{C \cdot P_{ap} \cdot 10^7}{\sqrt{x'_d \cdot D^5 n^3 \cdot B_\delta^3}}, \text{ cm}; \qquad (9)$$

unde, P_{ap} se dă în kVA, D în cm, τ în cm.

$\lambda = \frac{L}{\tau}$ Lungimea totală şi pasul polar trebuie să respecte raportul ale cărui valori orientative se pot alege din figura 3.

Încărcările electromagnetice ale maşinilor electrice sînt determinate prin încărcarea liniară a înfăşurării statorului A (A/cm) şi inducţia medie în întrefier B_δ (Gauss), care sînt legate între ele prin relaţia constantei maşinii.

Alegerea preliminară a încărcărilor electromagnetice (A, B_δ) se poate face cu ajutorul figurilor 5,6 în funcţie de puterea aparentă, cu ajutorul figurii 7 în funcţie de pasul polar.

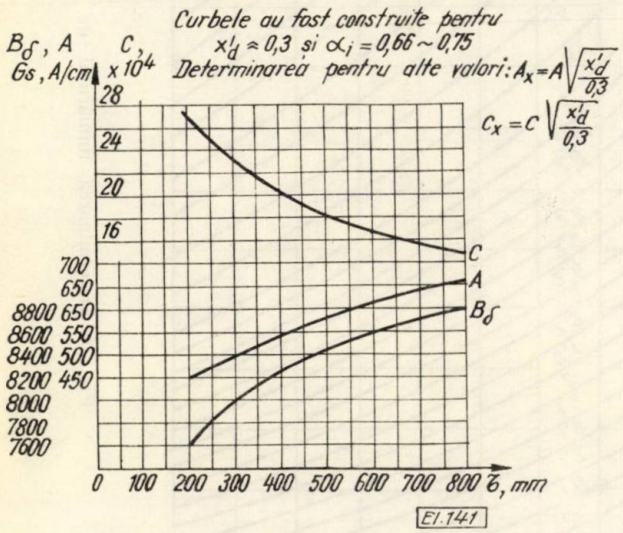


Fig. 7. Determinarea valorilor pentru A, B_δ, C în funcţie de pasul polar al hidrogeneratoarelor verticale.

Încărcarea liniară influenţează direct reactanţa care la rîndul său influenţează constanta maşinii. Determinarea încărcării liniare în funcţie de x'_d şi τ se poate face cu ajutorul figurii 8. Solicitările electromagnetice în funcţie de constanta maşinii se pot alege din figura 9.

În cazul hidrogeneratoarelor cu răcire directă integrală, la fierul activ al statorului, înfăşurarea statorului şi rotorului sînt răcite nemijlocit cu apă. Solicitările electromagnetice determinate mai sus, corespunzătoare hidrogeneratoarelor cu răcire indirectă, se pot majora astfel : încărcarea liniară, de 2 — 2,3 ori ; inducţia în întrefier, de 1,2 ori.

În cazul hidrogeneratoarelor cu răcire combinată, la care înfăşurarea statorului este răcită nemijlocit cu apă, fierul activ al statorului şi înfăşurarea rotorului sînt răcite nemijlocit

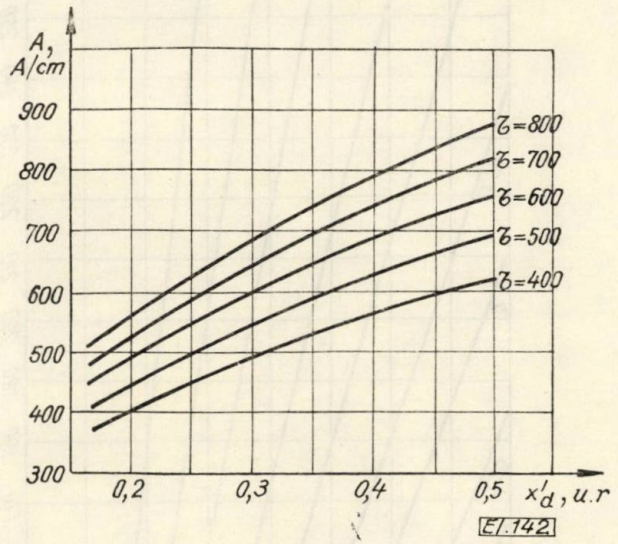


Fig. 8. Încărcarea liniară.

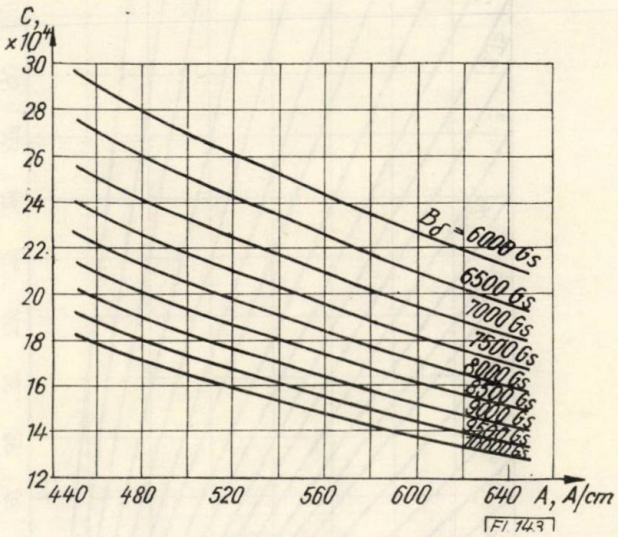


Fig. 9. Încercările electromagnetice şi constanta maşinii

cu aer, se pot majora în felul următor : încărcarea liniară, de 1,8 — 2 ori ; inducţia în întrefier, de 1,1 ori.

Ştiind că încercările electromagnetice A, B (w_1) sînt funcţii dependente de numărul de spire pe fază (w_1), este necesar ca acest sistem de relaţii să aibă o soluţie comună, care ar reprezenta numărul de spire optim. Stabilirea corectă a valorii pentru w_1, influenţează direct economicitatea hidrogeneratorului, prin raportul dintre cantitatea de cupru şi fier activ şi în acelaşi timp determină soluţia de segmentare a fierului activ şi tipul de înfăşurare

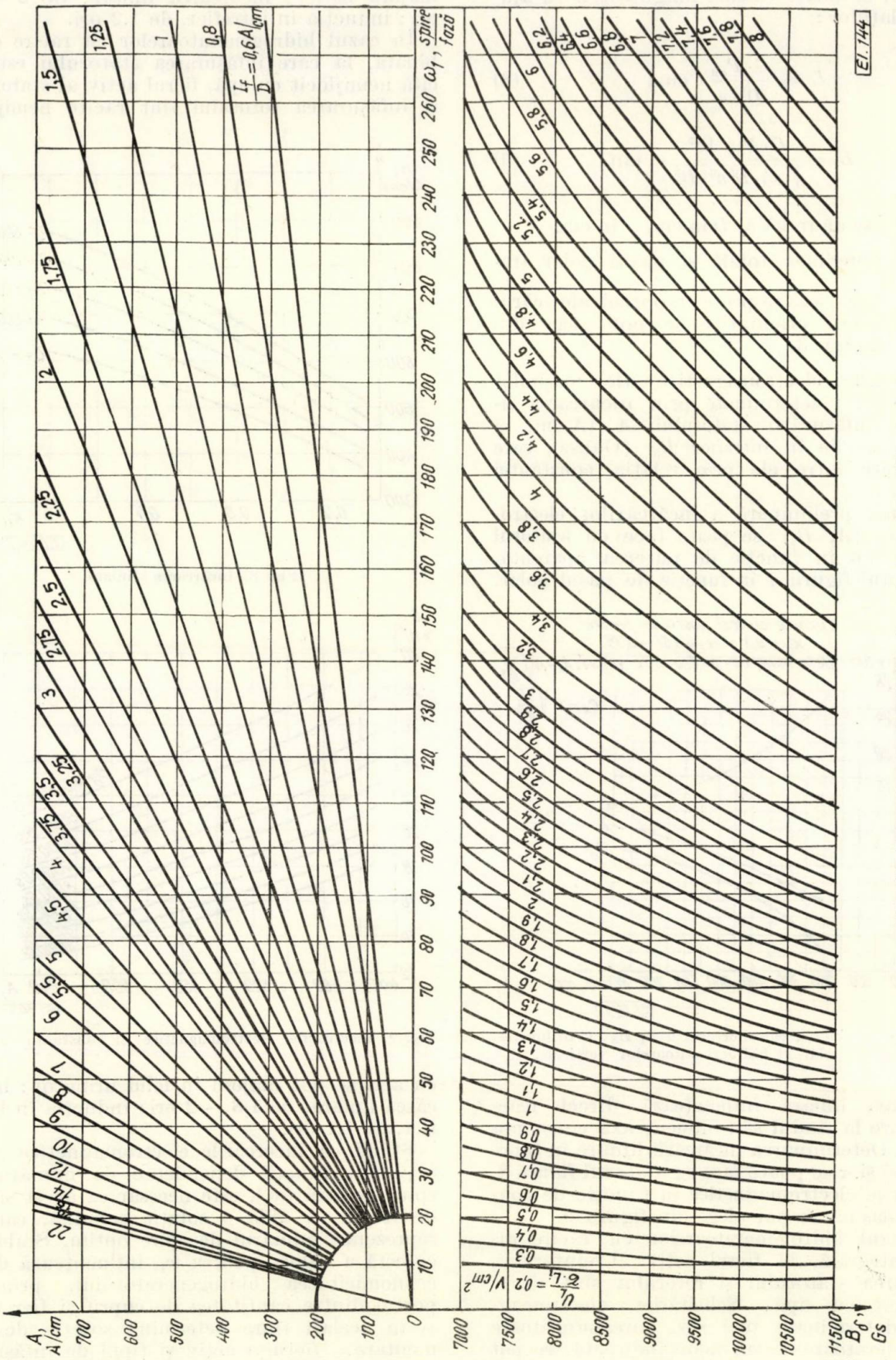


Fig. 10. Determinarea numărului de spire pe fază, W_1.

Tabela 2

Valori comparative pentru w_1 determinate din figura 10 şi cele ale unor hidrogeneratoare realizate.

P_{ap} kVA	U_L kV	$\frac{U_L}{\tau \cdot L}$	B_δ	$\frac{l_f}{D}$	A	w_1	
						Adoptat	din figura 10
6 500	6 300	2,31	6 370	3,03	450	140	135/85
8 500	6 300	1,52	7 250	2,5	407	90	75/85
12 500	6 300	1,65	7 500	2,05	475	104	77/128
25 000	10 500	2,08	7 040	2,36	490	108	105/133
25 500	10 500	1,485	7 800	3,91	524	70	69/68
61 000	10 500	0,715	7 400	9,6	605	33	34/34
185 000	15 750	0,73	9 959	14,72	788	28	25/28
109 000	15 750	1,7	7 340	4,9	786	84	82/83

a statorului. Determinarea numărului de spire optim w_1, în funcţie de datele de proiectare şi a dimensiunilor principale (I_f/D; U_I/τ Li) se poate face cu ajutorul curbelor din figura 10, construite de autor [4]. În tabela 2 se prezintă valorile comparative pentru numărul de spire pe fază.

Bibliografie

[1] *Dombrovskii, V. V., Eremeev, A. S., Ivanov, N. P. Ipatov, P. M., Kaplan, M. I.* şi *Pinskii, G. B.* — Proiektirovanie ghidrogheneratorov vol. I, Moskva, Leningrad, Izdatelstvo-Energia, 1965.

[2] *Abramov, A. I.* şi *Ivanov-Smolenskii, A. V.*, Rascet i konstrukţia ghidrogheneratov, Moskva, Izdatelstvo Vissaia Şkola, 1964.

[3] *Liwschitz, M.* — Die Elektrischen Maschinen, vol. I. Leipzig, Berlin, 1931.

[4] *Opaschi, M.* — Proiectarea hidrogeneratoarelor — IPEE — (pentru uz intern) Reşiţa — Timişoara, 1969.

Intrat în redacţie la 19.IV.1971

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE

Autotransformatoare trifazice de 400 MVA

O parte din energia electrică de la hidrocentrala Porţile de Fier este debitată în reţeaua de 400 KV şi recepţionată la Bucureşti prin două autotransformatoare trifazice 400/400/160 MVA 400/231 $\pm$ 12 $\times$ 1,25 %/22 KV, care leagă sistemele de 400 KV şi 220 KV în zona Bucureşti.

Fiecare autotransformator constă dintr-o unitate principală de 400/400/160 MVA 400/231/22 kV (fig. 1) şi un buster

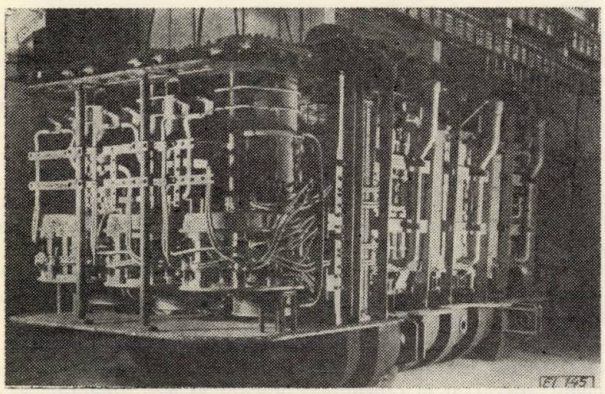


Fig. 1. Unitatea de reglaj 400 (60) MVA $\pm 12 \times \frac{34,65}{12}$/22 kV a autotransformatorului de 400/400/160 MVA 400/231/22 kV înainte de încuvare.

pentru reglaj (unitate şi reglaj fig. 2) cu puterea 400 (60) MVA şi tensiunile $\pm 12 \times \frac{34,65}{12}$/22 KV. Unitatea principală poate lucra şi independent, fără unitatea de reglaj, în acest caz asigurînd un raport de transformare fix (soluţia este economică şi aplicabilă în situaţia de autotransformator ridicător, contînd pe reglajul la zona de coborîre a tensiunii precum şi pe reglajele din sistemele de 220 kV şi 110 kV).

Realizate de uzina Electroputere din Craiova în variantă trifazată, autotransformatoarele menţionate au un înalt nivel tehnic. Principalele caracteristici tehnice ale unităţii de bază şi ale unităţii de reglaj (aceasta constînd din transformatorul de reglaj propriu-zis şi din autotransformatorul de reglaj, ambele montate în aceeaşi cuvă) sînt date în tabela alăturată.

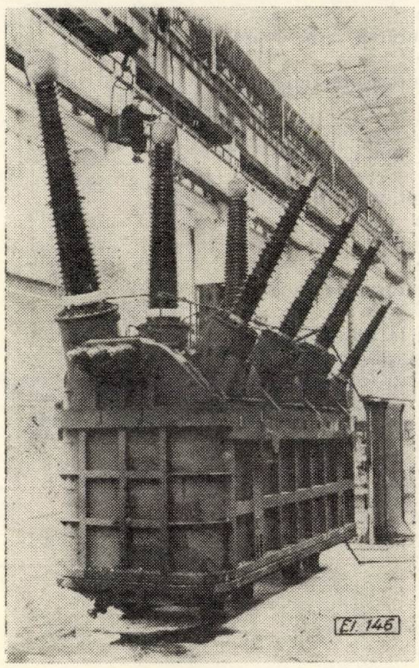


Fig. 2. Unitatea principală a autotransformatorului de 400/400/160 MVA 400/231/22 kV în timpul montării izolatoarelor.

Miezurile magnetice sînt executate din tablă laminată la rece cu cristale orientate şi pierderi specifice maxime pe lot de tablă 0,97 W/kg la 1,5 T, izolaţia tablei fiind de tip carlyte.

Tabela 1

Caracteristica	Unităţi de măsură	Unitatea principală	Unitatea de reglaj
Puterea unitară a înfăşurării de înaltă şi a înfăşurării de joasă tensiune	kVA	400.000	—
Puterea aparentă a înfăşurării terţiare	kVA	160.000	—
Puterea aparentă de trecere a reglajului	kVA	—	400.000
Puterea de dimensionare a reglajului	kVA	—	60.000
Tensiunea de scurtcircuit	%	11,5	1,2
Pierderi în înfăşurări (pentru unitatea principală între înfăşurarea de I.T. şi înfăşurarea de J.T. iar pentru reglaj pe poziţia 13 a comutatorului)	kW	850	170
Pierderile în miezuri la U_N (pentru unitatea de reglaj valoarea minimă este pe poziţia 13 a comutatorului, iar valoarea maximă pe poziţiile 1 şi 25)	kW	160	între 30 şi 130
Tensiunea de încercare la impuls cu undă plină 1,2/50 μs polaritate negativă:			
— înfăşurarea de înaltă tensiune	kV	1 425	900
— înfăşurarea de joasă tensiune	kV	900	125
— înfăşurarea terţiară	kV	125	—
Tensiunea de încercare la impuls cu undă tăiată după 3 μs :			
— înfăşurarea de înaltă tensiune	kV	1 640	1 040
— înfăşurarea de joasă tensiune	kV	1 040	145
— înfăşurarea terţiară	KV	145	—
Rezistenţa la scurtcircuit a tuturor înfăşurărilor este asigurată pentru puterile de scurtcircuit :			
— în reţeaua de 400 kV	GVA	25	25
— în reţeaua de 220 k	GVA	12	12
— în reţeaua de 22 kV	GVA	1,5	1,5
Greutatea de transport (fără ulei şi accesorii)	tone	206,5	115

Stringerea miezurilor se realizează cu buloane plate, izolate şi introduse în canalele transversale din coloane şi juguri. La unitatea principală, miezul este cu 5 coloane în acelaşi plan şi cu 3 rame (două canale transversale), iar la unitatea de reglaj miezurile sînt cu 3 coloane în acelaşi plan şi dublă ramă (un canal transversal). În miezuri sînt practicate şi canale longitudinale pentru răcire. Treptele miezului ca şi alte elemente constructive ale miezului (schele, tiranţi) sînt puse la masă prin rezistenţe pentru limitarea curenţilor de descărcare a potenţialelor. Temperatura miezului este urmărită în sala de comandă cu ajutorul unui termometru cu rezistenţă, al cărui element de măsură este montat în miez. În construcţia schelelor ca şi a plăcilor de strîngere de la capetele coloanelor, pe care sînt montate bobinele, sînt utilizate oţeluri nemagnetice pentru reducerea pierderilor suplimentare. De asemenea, tiranţii sînt din oţel nemagnetic şi bine izolaţi faţă de bobinaj.

Înfăşurările sînt de conductoare de cupru electrolitic, izolaţi cu hîrtie de cablu (în variantă monofilar şi în variantă bifilar acestea din urmă fiind izolaţi independent şi avînd o izolaţie comună pe conductoarele gemene). Constructiv înfăşurările sînt de tip concentric, în galeţi, cu canale radiale şi axiale pentru a asigura o bună răcire, cu transpoziţii şi întreţeseri care asigură reducerea pierderilor suplimentare şi o bună rezistenţă la solicitările de impuls. Izolaţia faţă de masă este realizată prin canale de ulei, cilindri din carton electrotehnic pentru transformatoare (transformerboard) şi cilindri moi, din hîrtie de cablu, răsfrînţi la capete peste părţile superioare şi inferioare ale înfăşurărilor. Intrarea în înfăşurarea de 400 kV este la mijlocul bobinelor, înfăşurarea realizată din două semibobine legate în paralel. Autotransformatorul este dotat cu termocopie pentru urmărirea temperaturii înfăşurării de 400 kV.

Cuvele, atît la unitatea principală cît şi la cea de reglaj, sînt de tip clopot. La unitatea principală cuva este căptuşită cu tablă de cupru în scopul evitării încălzirilor locale. Convertoarele de ulei sînt montate separat, lateral şi au prevăzut cîte o membrană elastică din cauciuc rezistent la ulei, membrană care permite dilatarea uleiului şi, separîndu-l de mediul exterior, îl protejează de oxidare şi de pătrunderea umidităţii.

Răcirea este asigurată prin baterii cu circulaţia forţată a uleiului şi suflaj de aer, avînd fiecare o putere de disipare de 200 kW. La unitatea principală sînt montate 10 baterii, în 3 grupe de cîte 3 baterii şi o baterie de rezervă, acţionarea fiecărei grupe fiind făcută automat în funcţie de temperatura uleiului, sau manual de la cofretul de pe transformator sau din camera de comandă. Unitatea de reglaj este prevăzută cu 3 baterii de răcire acţionate automat, în funcţie de temperatura uleiului, sau manual. Există, deci, o rezervă importantă în instalaţia de răcire, ceea ce dă siguranţă în exploatare. Temperatura uleiului din straturile superioare ale uleiului este indicată de un termometru cu rezistenţă şi poate fi citită şi în camera de comandă. Un semnalizator termic de pericol montat pe capac, protejează împotriva eventualelor supraîncălziri ale uleiului.

Soluţia tehnică adoptată (construcţie trifazată avînd reglajul într-o unitate separată prin care se asigură reglajul longo-transversal al tensiunii), precum şi performanţele realizate (nivel de pierderi, greutăţi, gabarit), situează aceste autotransformatoare între produsele cu nivelul tehnic cel mai ridicat, realizate pînă în prezent în lume.

Ing. *M. Liculescu*

RECENZII

CZ 621.311.1 : 621.316.1.05

E. W. KIMBARK — **Transportul energiei în curent continuu.** Vol. 1 (Direct Current Transmission) Wiley-Interscience, John Wiley&Sons, 1971, 508 pag.

În ultimile două decenii şi-a făcut apariţia un nou sistem de transport al energiei şi anume, transportul în curent continuu la înaltă tensiune (HVDC), bazat pe redresarea curentului alternativ, transmiterea energiei în curent continuu pe linii aeriene sau cabluri subterane şi reinvertirea sa în curent alternativ injectat în reţelele de distribuţie obişnuită. Raţiunea alegerii acestei soluţii este multiplă : traversări pe porţiuni lungi de apă prin cabluri submarine, schimbări de frecvenţă, funcţionarea în asincron a sistemelor de aceeaşi frecvenţă sau de frecvenţe diferite, linii foarte lungi între hidrocentrale şi zonele de consum, transportul energiei prin zone intens populate etc. Experienţa căpătată pe cele cîteva astfel de sisteme în funcţiune a demonstrat înalta eficienţă a transportului şi interconectărilor în curent continuu şi este de aşteptat ca viitorul să-i asigure o aplicaţie şi mai mare.

Lucrarea de faţă a apărut tot din utilitate practică. Concepută ca un curs de specializare pentru inginerii de la Bonneville Power Administration, bazată pe realizările şi lucrările personale din acest domeniu, cartea se prezintă ca un material de sinteză de un înalt nivel ştiinţific şi tehnic şi care fără îndoială a fost bine primită de specialiştii din întreaga lume. Lucrarea cuprinde 9 capitole după cum urmează :

Capitolul I : „Aspecte generale ale transmisiei în curent continuu şi o comparaţie cu transmisia în curent alternativ" începe cu probleme legate de istoria acestei metode. Primul sistem industrial de transport în c.c. a fost sistemul Thury (1880—1911) prin care energia electrică produsă de un grup de generatoare de c.c. cu excitaţie serie, înseriate între ele era transmisă printr-o linie de 180 km (4,3 MW la 57,6 KV) de la o hidrocentrală din Alpii Francezi la Lyon, unde prin alte grupuri de motoare generatoare înseriate era reconvertită în curent alternativ. După 1912 sistemul pierde competiţia cu sistemele în curent alternativ şi abia după cel de-al doilea război mondial cînd vehicularea unor energii importante a ridicat probleme pe care transmisia în curent alternativ nu mai reuşea să le rezolve, din motive tehnice sau economice. Astfel, au apărut pe rînd Sistemul Gotland 1954, (100 kV, 20 MW, 96 km-cablu) ; Legătura Franţa-Anglia 1961 (± 100 kV, 160 MW, 64 km cablu), Volgograd-Donbass, 1962 — 1965 (± 400 kV, 720 MW, 474 km), Noua Zeelandă— Benmore — Haywards, 1965 (± 250 kV, 600 MW, 570 km linie, 40 km cablu) ; Konti-Skan — Suedia, 1965 (250 kV, 250 MW, 88 km linie, 87 km cablu) ; Sardinia, 1966 (200 kV, 200 MW, 290 km linie, 116 km cablu) ; Vancouvert Islands, 1968 (± 130 kV, 78 MW, 41 km linie, 32 km cablu) ; Pacific NW — SW, 1970 (± 400 kV, 1440 MW, 1372 km linie), Kingsworth — Londra (în construcţie ± 266 kV, 640 MW, 59 km linie, 82 km cablu) ; Welson River Manitoba (în construcţie ± 450 kV, 3240 MW, 895 km linie).

O a doua problemă prezentată a fost aceea a tipurilor de linii utilizate în transmisie : monopolare (cu conductor (—), (+) pămînt), bipolare, două conductoare pămînt-median) şi sisteme omopolare (două sau mai multe conductoare, pămîntul cale de întoarcere).

Faţă de sistemele de transport ale energiei în curent alternativ sistemele de curent continuu prezintă o serie de avantaje şi dezavantaje. Ca avantaje sînt citate, puterea mare transmisă la aceeaşi secţiune de conductor, linii de transport de construcţie mai simplă, se poate utiliza pămîntul sau apa mării drept cale de întoarcere, nu apar efecte capacitive, efect pelicular, pierderi corona, paraziţii radiofonici sînt mai reduşi, cablurile pot lucra la tensiuni mai ridicate, nu există probleme de factor de putere, compensare a puterii reactive produse sau consumate de linie, nu se pun probleme de sincronizare, lungimea liniilor nu mai este limitată din considerente de stabilitate se pot interconecta sisteme de frecvenţe diferite, curenţii de scurtcircuit sînt imediat limitaţi, acţionîndu-se asupra unghiului de aprindere a convertoarelor.

Dezavantajele sînt : convertoarele sînt scumpe, cer o importantă energie reactivă, generează armonici şi ca urmare necesită filtre, convertoarele au o foarte redusă capacitate de suprasarcină, lipseşte încă un întrerupător de înaltă tensiune de c.c. de bună calitate, fapt care limitează separarea rapidă a porţiunilor de linie avariată.

Factorii economici sînt, de asemenea deosebit de importanţi pentru şansele de competivitate ale acestui sistem. Preţul de cost per kilometru al liniilor de c.c. este mai scăzut decît în c.a. dar echipamentul terminal compensează cu prisosinţă aceste eventuale economii. Se poate considera că per total, pentru linii de lungime de peste 800 km, preţul transportului aerian în c.c. este mai scăzut decît în c.a. şi că numai din aceste considerente sistemul poate fi utilizat cu succes.

Capitolul II : „Circuitul convertoarelor", începe cu prezentarea caracteristicilor elementelor de redresare, atenţia autorului fiind reţinută de valvele cu vapori de mercur, soluţia cea mai răspîndită astăzi în sistemul HVDC, fiind apoi discutate pe rînd principiile diverselor tipuri de redresoare în mono, bi, tri, hexa şi dodecafazate.

Capitolul III „Analiza punţilor convertoarelor" se ocupă de funcţionarea sistemelor de redresare şi inversare cu unghi de aprindere comandat, ca exemplu fiind studiat dispozitivul trifazat în dublă alternanţă. Sînt prezentate relaţiile dintre mărimile din curent alternativ şi cele din curent continuu, fenomenele de comutaţie şi particularităţile de funcţionare ale valvelor cu vapori de mercur comandate.

Capitolul IV —„Diagramele convertoarelor" reprezintă grafic legăturile ce există între mărimile de pe partea de c.c. şi cele de pe partea de c.a., diversele locuri geometrice pentru unghiurile de aprindere şi de stingere constante, valori constante pentru curenţii şi tensiunile de pe partea de c.c.

Capitolul V—„Comanda" se ocupă de principiile şi metodele de control ale redresoarelor comandate, formele ideale ale impulsurilor de comandă, limitele comenzilor manuale, de funcţionare la tensiune sau curent constant de ieşire, de problemele de stabilitate, dispozitivele de măsură şi deviaţiile de frecvenţă.

Capitolul VI — „Regimuri de funcţionare defectuoase ale convertoarelor" prezintă diversele posibilităţi de avarii ale dispozitivelor şi anume conducţia în sens invers, arc invers, chopparea arcului, refuz sau aprinderea greşită. Sînt propuse diverse metode de protecţie şi eliminare a acestor avarii, dintre care sistemul valvei bypass comandată are cele mai multe aplicaţii.

Capitolul VII — „Protecţia" se referă la protejarea instalaţiilor faţă de două tipuri principale de avarie a sistemelor de curent alternativ. Protecţia la supratensiuni prin fir de gardă, descărcătoare, coordonarea izolaţiei şi protecţia de curent prin siguranţe şi întrerupătoare ultrarapide şi reactoare de limitare.

Protecţia pe partea de c.c. la supratensiuni este asemănătoare celui de pe partea de c.a., supracurenţii fiind limitaţi prin comanda valvelor, circuite de amortizare şi reactoare de curent continuu.

Luate în ordine inversă, reactoarele pentru curent continuu de 0,4 — 1 H sînt conectate în serie cu fiecare pol în fiecare staţie de conversie, rolul lor fiind de a limita viteza lor de creştere a curentului în cazul diferitelor avarii pe partea de c.c. sau c.a. Circuitul de amortizare are rolul de a reduce viteza de creştere a tensiunii inverse în momentul întreruperii conducţiei vreunei valve, gradient de tensiune ce poate comanda aprinderi inverse.

O problemă deosebit de dificilă este legată de slabele performanţe ale întrerupătoarelor de c.c. actuale. Faptul că curentul continuu nu trece în mod natural prin zero ridică probleme care nu pot fi depăşite decît prin metode de trecere artificială prin zero (reţele LC în paralel cu întrerupătorul).

Capitolul VIII — „Armonici şi filtre" dezbate una din cele mai delicate probleme ale sistemelor HVDC. Redresoarele şi inversoarele sistemului provoacă armonici de amplitudine importantă pe partea de c.a. şi c.c. şi ca urmare o serie întreagă de neplăceri apar în aceste reţele : pierderi suplimentare în maşini şi condensatoare, fenomene de rezonanţă şi supratensiuni, interferenţă cu sistemele de comandă precum şi deranjamente în sistemele de telecomunicaţii — telefonic şi radio. Două metode sînt cele mai eficiente

în limitarea acestor armonici: creşterea numărului de faze (sisteme 2 × 12 faze fiind larg utilizate) şi utilizarea filtrelor acordate pe diverse armonici.

Capitolul IX — „Întoarcerea prin pămînt", prezintă o serie de avantaje şi probleme în special cu caracter economic şi tehnic. Lipsa unui conductor, înlocuirea sa prin apa mării sau pămînt conduce la economii de capital investit dar soluţia trebuie acordată şi cu efectele de coroziune ale curenţilor asupra conductoarelor şi cămăşilor de cabluri vecine precum şi de influenţa asupra busolelor vaselor ce trec prin zona respectivă. Capitolul conţine cîteva paragrafe legate de proiectarea electrozilor şi a legăturilor prin pămînt şi mare precum şi exemple ale unor realizări industriale.

Concepută ca o lucrare pentru ingineri cartea îşi atinge cu precizie scopul îmbrăţişînd atît aspectele tehnice cît şi pe cele economice şi ecologice ale problemei, prezentarea realizărilor din diverse puncte ale globului permiţînd o analiză bazată pe fapte reale ale avantajelor şi limitelor transportului energiei în curent continuu.

Aceste fapte justifică recomandarea lucrării tuturor specialiştilor din domeniul sistemelor electrice, soluţia transportului în curent continuu meritînd să fie luată în consideraţie în proiectele anilor ce vin.

Dr. ing. *Răzvan Măgureanu*

CZ 537.312.6 : 621.3

HADLOW, M.E.C., BAYLES, J.A., şi LINDLEY, B.C. **Supraconductivitatea şi aplicaţiile sale în electrotehnică** (Superconductivity and its applications to power engineering). În: Proceedings IEE, IEE Reviews, vol. **119**, nr. 8 R, august 1972, p. 1103—1032, 50 fig., 130 ref. bibl.)

Deşi superconductivitatea ca fenomen a fost descoperită încă din anul 1911, abia în ultimul deceniu se poate vorbi de aplicaţiile sale practice. Pe lîngă domenii înguste, ultra speciale, în tehnica fizicii moderne, superconductivitatea are deja mari şanse de utilizare în domeniile clasice ale energeticii. Proprietatea pe care o au anumite metale şi în special unele aliaje, ca la temperaturi foarte scăzute, apropriate de 0°K, rezistivitatea lor să scadă practic la zero, permite să se lucreze cu densităţi de curent foarte ridicate şi deci, să se construiască maşini electrice, transformatoare, cabluri, electromagneţi cu un volum redus de cupru şi un randament ridicat.

Articolul de faţă, sinteză a unei foarte bogate literaturi (130 titluri), porneşte de la principiile teoretice ale fenomenului de superconductivitate, de la bazele sale cuantice şi se încheie cu descrierea diverselor aplicaţii posibile, cu şansele lor tehnico — economice de utilizare în viitor.

Sînt definite două categorii principale de materiale superconductoare: tipul 1 şi tipul 2, diferenţiate prin proprietatea celor din prima clasă de a refuza cîmpul magnetic şi de a-şi pierde proprietatea de superconductivitate la cîmpuri magnetice destul de scăzute (de exemplu, pentru o inducţie echivalentă mai mică decît 0,1 T). Materialele din clasa a doua, de tipul aliajelor, rămîn supraconductoare pentru cîmpuri foarte ridicate (în anumite cazuri pînă la 40 T), proprietate care le asigură un cîmp larg de aplicaţii în tehnica electromagneţilor şi a circuitelor de excitaţie în curent continuu. Din păcate, în curent alternativ la medie şi înaltă frecvenţă, în general materialele de tipul 2 nu pot fi folosite datorită unui fenomen de histereză magneto-rezistiv care conduce la degajarea de căldură şi implicit la o eficienţă redusă a sistemului; pentru astfel de frecvenţe fiind utilizabile doar supraconductoare de tipul 1.

O problemă importantă este ridicată de aşa-numita rezistenţă reziduală. Deşi la prima vedere aceste supraconductoare ar trebui să prezinte o rezistenţă zero, la trecerea unui curent electric apare totuşi un fenomen Joule şi, în special în cazul conductoarelor de dimensiuni ridicate pentru un schimb slab de căldură cu exteriorul, conductorul îşi poate ridica temperatura şi să ia naştere un fenomen de avalanşă, conducînd la o nouă creştere a rezistenţei, o creştere a căldurii degajate care, în final, poate să scoată complet materialul din starea de superconductivitate şi chiar să conducă la topirea şi distrugerea conductorului respectiv. Ca urmare, pentru mărirea conductivităţii termice, materialele supraconductoare se placează cu un strat foarte subţire de cupru, care în prezenţa heliului lichid face să crească coeficientul de conducţie global. Acest strat de cupru joacă de asemenea un rol şi în stabilizarea criostatică, respectiv atunci cînd în stratul supraconductor apar zone normale curentul electric să treacă numai prin stratul de cupru, permiţînd răcirea materialului supraconductor şi revenirea sa la starea iniţială de supraconductivitate.

Pentru aplicaţii în curent alternativ de joasă frecvenţă (1 Hz) se utilizează o soluţie multifilară (în general niobiumtitan cu diametrele filamentelor de 10^{-2} mm) înglobată într-o matrice cupru-nichel, cu un diametru global de 0,5 mm, sistem ce permite densităţi de curent de ordinul a 300 A/mm² la cîmpuri de 5 — 6 T fără a se remarca pierderi inacceptabile în curent alternativ.

Ţinînd cont de proprietăţile prezentate, materialele supraconductoare pot avea o serie întreagă de aplicaţii: astfel, absenţa rezistenţei electrice recomandă supraconductoarele de tipul 1 pentru transmisie în curent alternativ, cavităţi rezonante cu factor de calitate foarte ridicat, giroscoape şi servomotoare de foarte mare viteză, camere de cîmp zero etc. Supraconductoarele de tipul 2, funcţionînd la densităţi de curenţi şi cîmpuri magnetice ridicate, se recomandă pentru transmisie în curent continuu, stocare inductivă de energie la producerea cîmpurilor magnetice intense utilizabile în fizica corpului solid, fizica nucleară, fizica plasmei, microscopie electronică, maşini electrice rotative, levitaţie. De asemenea, aşa-numita lor proprietate de structură flux-cuantizată are aplicaţii la magnetometre ultrasensibile, amplificatoare, etaloane electromagnetice, iar proprietatea de trecere bruscă din stare normală la supraconductivitate şi invers, se poate aplica la pompe de flux, memorii şi elemente logice, amplificatoarele şi oscilatoare cu zgomot redus, dispozitive tunel, balometre.

Dintre toate aceste aplicaţii, în articol se acordă atenţie deosebită utilizării supraconductivităţii în scopuri inginereşti. Din această categorie, primele aplicaţii prezentate în detaliu sînt electromagneţii pentru cercetare. Pentru producerea de cîmpuri magnetice foarte intense, peste 5 T soluţiile clasice răcite cu apă conduc la dimensiuni uriaşe şi consumuri considerabile de energie. Astfel, pentru producerea unui cîmp echivalent de 6 T la un solenoid cu diametrul interior utilizabil de 80 mm la soluţia clasică, este necesară o putere de excitaţie de aproximativ 1 MW şi o circulaţie de apă de 50 m³/h; pentru acelaşi solenoid supraconductor este suficientă o putere de numai 1 kW în refrigerator. La diametre mai mari şi cîmpuri echivalente mai ridicate (pînă la 14 T) avantajele sistemelor supraconductoare sînt şi mai evidente, dacă nu constituie chiar singura soluţie posibilă din punct de vedere tehnic.

O aplicaţie mai apropiată de preocupările noastre este în domeniul maşinilor electrice. Recentele realizări japoneze, franceze şi în special ultimul model britanic de maşină homopolară de curent continuu de 3250 C.P. au demonstrat viabilitatea soluţiei, deschizîndu-i noi perspective. În domeniul maşinilor de curent alternativ, aplicaţiile sînt în special în tehnica aero-spaţială, la construcţia giroscoapelor şi servomotoarelor de foarte mare viteză. Pentru alternatoarele sincrone de foarte mare putere recentul model de 87 kVA de la M.I.T. a demonstrat posibilităţile de aplicabilitate a supraconductivităţii în acest domeniu, iar studiile tehnico-economice realizate au arătat că începînd de la puteri de 200 MVA această soluţie poate să fie competitivă economic, peste 2000 de MVA, reprezentînd singura posbilitate tehnică.

Cablurile supraconductoare reprezintă o altă aplicaţie a supraconductivităţii. Realizate în special pentru curent alternativ din combinaţii de materiale de tipul 1 şi 2, răcite cu heliu la 4,2°K şi protejate cu un strat de azot lichid la 77,8°K, aceste sisteme devin competitive din punct de vedere tehnico-economic la puteri de peste 2 GVA, puteri care vor deveni tot mai comune. Problemele speciale de protecţie la avarii, precum şi ale instalaţiilor frigorifice, pot fi depăşite din punct de vedere practic şi se poate spune cu certitudine că soluţia va fi de mare viitor.

Din familia instalaţiilor energetice face parte şi transformatorul supraconductor. Realizarea sa ridică însă probleme mult mai dificile, datorită pierderilor în miezul magnetic, el nu va fi imersat în întregime în heliu lichid. Ca urmare, a fost propus un sistem mai complicat la care miezul funcţio-

nează la temperatura obișnuită, înfășurările fiind singurele care funcționează la temperaturi scăzute. Datorită dificultăților care apar din punct de vedere constructiv și a cîmpurilor intense, în care funcționează înfășurările, pronosticurile asupra posibilităților de utilizare a transformatoarelor supraconductoare nu sînt categorice, așteptîndu-se progrese în domeniul supraconductoarelor de tipul 2 cu pierderi magneto-rezistive reduse.

Realizarea unor sisteme de transport terestru la viteze foarte mari ridică problema înlocuirii sistemului de rulare clasic roată — șină prin sisteme moderne de levitație. Perna de aer are aplicații limitate, în special, datorită gradului ridicat de zgomot și vibrații pe care le provoacă și din acest motiv levitația și mai ales ghidajul electromagnetic este astăzi privit ca singura soluție utilizabilă. La viteze de peste 400 km/h. Realizările experimentale ale firmei Messerschmitt — Bölkow — Blohm din R.F.G. au demonstrat că un astfel de vehicul dotat cu electromagneți clasici pentru levitație, atunci cînd se află în mișcare se induce t.e.m. în șinele de aluminiu ale căilor de ghidare, iar curenții ce apar dau naștere prin interacție cu cîmpul inductor unei forțe de levitație suficientă pentru levitarea sistemului la 10 — 20 mm. Este de așteptat ca soluția cu electromagneți supraconductori să conducă la rezultate și mai bune, la o eficiență mai ridicată.

O altă aplicație prezentată este aceea a stocajului de energie prin metode inductive. Se demonstrează că pentru energii de peste 100 $MVA_t h$, acumulate în golurile de sarcină și care urmează a fi cedate sistemului în vîrfurile de sarcină, soluția cu selfuri supraconductoare prezintă importanță tehnică deși încă trebuie depășite o serie întreagă de dificultăți.

Lucrarea se încheie cu un capitol de concluzii care conține un studiu prospectiv asupra aplicațiilor practice ale supraconductivității. Prin utilizarea unei tehnici de prognoză Delphi, pentru o perioadă relativ scurtă sînt obținute probabilistic șansele de aplicabilitate ale supraconductivității pînă în anul 1985, șanse ce variază între 5% (aproape sigur nu) pentru levitația electromagnetică în transport, 20% (foarte puțin probabil) pentru generatoarele sincrone cu excitație supraconductoare, și 40% (posibil) pentru cablurile supraconductoare pînă la 75% (foarte probabil) pentru utilizarea curentă a peste 20 de mari generatoare de curent continuu.

Dr. ing. *Răzvan Măgureanu*

REFERATE

CZ 621.31 *Electrotehnică generală*

CZ 621.311. 1.024 : 621.316

Arrillaga, T., ș.a. **Controlul inversării puterii în sisteme interconectate de transmitere a energiei în curent continuu de înaltă tensiune** (Power-reversal control în h.v.d.c. interconnectors). În : P.I.E.E. **119**, nr. 9, 1972, p. 1345—1350.

Se propune o metodă de inversare a puterii în curent continuu, cu control al punctului pe undă și a vitezei cu care se realizează inversarea. În timp ce între două sisteme de curent alternativ de putere ridicată, schimbul de putere nu impune o inversare rapidă a sensului, viteza cu care se realizează această inversare este un factor esențial pentru controlul frecvenței sistemelor relativ slabe. În sistemele interconectate legătura în curent continuu poate juca un rol major în atenuarea perturbațiilor. Se descriu principiul, construcția și funcționarea controlului numeric pentru inversarea puterii, evaluîndu-se performanțele dinamice pe un calculator digital. Rezultatele ilustrează posibilitatea inversării rapide a puterii, chiar și în sisteme slabe de curent alternativ, condițiile stabile noi de funcționare fiind atinse în aproximativ 3 cicluri. Forma de undă a tensiunilor alternative este puțin perturbată datorită reducerii rapide la zero a curentului la capătul legăturii la care se trece de la redresare la inversie, eliminîndu-se în acest fel riscul unei comunicații nereușite. Inversarea rapidă a puterii nu solicită în mod special cablul de curent continuu, viteza de variație a tensiunii fiind apropiată de cea a undei de 50 Hz. Dacă ambele capete ale legăturii sînt operate simultan ca redresoare, curentul crește rapid la unul din capete și tensiunea pe cablu se inversează foarte repede, ceea ce duce la solicitarea sporită a cablului. Comportarea legăturii este mult îmbunătățită dacă comanda de inversare a puterii la invertor este întîrziată un moment astfel, ca ambele capete să lucreze pentru scurt timp ca invertoare.

O. L.

CZ 621.313 *Mașini electrice*

CZ 621.313.121.13

Lehuen, C., Ruelle, Gr., Simonnot, D. **Pornirea în asincron a generatoarelor — motoare ale stațiilor de transfer de energie prin pompaj. Dezvoltarea tehnicii rotor — piscină.** (Demarrage asynchrone des générateurs — moteurs des stations de transfert d'énergie par pompage. Developpement de la technique du rotor-piscine). În : Sesiunea CIGRE 1972 — 28 august — 6 septembrie.

Într-un proiect cu tema stație de transfer de energie prin grupuri hidraulice reversibile, alegerea modulului de lansare a mașinilor în pompaj, condiționează aproape toate elementele instalației și poate influența apreciabil costul lucrărilor.

Problema lansării este dominată de două mărimi esențiale : mărimea cuplului rezistent și energia utilizabilă în cursul lansării. Cele două date de bază fiind stabilite, diferitele moduri de lansare ce se cunosc în prezent răspund mai mult sau mai puțin favorabil diverselor ce se prezintă proiectului centralei. Pentru a decide trebuie luați în considerație factori ca : rapiditatea manevrei de lansare, influența asupra construcției barajului, simplitatea schemei de comandă, prețul de cost al ansamblului.

În cazul demarajului în asincron direct curentul atinge valoarea de 2 pînă la 2,5 I_n, aproape complet reactiv (la $\cos \varphi \approx 0{,}5$), ceea ce provoacă o cădere importantă de tensiune în rețea. Dacă se iau măsuri corespunzătoare, căderea de tensiune poate fi limitată la valori în jurul a 10%, considerate acceptabile de Electricité de France.

Consecințele pornirii în asincron asupra mașinii sînt în principal de două categorii : cele legate de circulația în înfășurarea statorului a unui curent mult superior curentului nominal, timp de mai multe zeci de secunde și cele legate de energia termică disipată la suprafața rotorului, care sînt, de departe, cele mai mari. Datorită celor arătate mai sus rotorul este prevăzut uneori cu colivie amortizoare, răcită cu apă și poli masivi sau se adoptă soluții intermediare. Trebuie avute în vedere dilatările posibile în regim asincron.

O soluție care rezolvă problemele ridicate de construcția actuală a generatoarelor — motor este rotorul — piscină.

T. C.

CZ 621.313.322 – 81

Mason, H. T., Fairney, W., Arnold, I. I., Thelwell, I. M. **Funcționarea turboalternatoarelor în asincron** (Le fonctionnement en asynchrone des turboalternateurs). În : Sesiunea CIGRE 1972 — 28 august — 6 septembrie.

Funcționarea în asincron a turboalternatoarelor poate face parte din una din următoarele categorii : alunecarea polară sau pierderea tranzitorie a sincronului și pierderea accidentală sau deliberată a excitației. Mersul prelungit în asincron implică pierderea totală accidentală sau voluntară a excitației aplicate.

În Anglia au fost făcute încercări pe un turbogenerator de 588 MA, prevăzut cu dispozitive de control al temperaturii și un sistem de telemăsură pe rotor. Instalațiile auxiliare ale grupului au fost legate la tabloul de alimentare al centralei. Sarcina grupului a fost redusă la o valoare mică înaintea declanșării întreruptorului de pe circuitul de excitație, moment în care înfășurarea rotorului a fost legată pe o rezistență

de sarcină. Puterea debitată de generator, a fost apoi mărită în trepte succesive pînă ce au fost atinse condiţiile limită. Pe rotor au fost instalate 48 puncte de măsură, legate la un sistem de telemăsură în înaltă frecvenţă, care a permis măsurarea temperaturilor rotorului cu generatorul în funcţiune.

Un număr de termocuple a fost de asemenea montat şi pe stator, în zonele frontale ale fierului şi în circuitul gazului de răcire.

Au fost măsurate mărimile electrice ale generatorului, specifice mersului în regim asincron, cum ar fi puterile activă şi reactivă, tensiunile şi curenţii în stator precum şi unghiul rotorului.

Încercările au arătat că un mare turbogenerator (588 MVA) care nu a fost construit special pentru mers în asincron, poate să funcţioneze în acest regim, fără pericol, la 44% din puterea sa nominală activă. Este posibil să se construiască generatoare care pot funcţiona cu o sarcină asincronă mai ridicată. Experienţele au permis perfecţionarea metodelor de calcul pentru mers în asincron. Practica constînd în funcţionarea în asincron la sarcini mici în vederea absolvirii puterii reactive este în prezent foarte apreciată ca metodă simplă şi economică.

T. C.

CZ 621.313.322–81 : 621.316.9

Berdy, I., Crenshaw L. M., Temoshok, M. **Protecţia turboalternatoarelor mari funcţie de condiţiile anormale de funcţionare.** (Protection des grands turbo-alternateurs pendant des conditions anormales de fonctionnement). În : Sesiunea CIGRÉ 1972 — 28 august — 6 septembrie.

Un alternator poate fi expus unor solicitări care pot afecta izolaţia, cuprul sau fierul, deoarece o perturbaţie poate provoca un curent ridicat în indus, un curent şi o tensiune ridicată în inductor, o tensiune ridicată în indus, o frecvenţă care poate fi redusă. Problema care se pune este de a şti cît timp poate funcţiona un alternator în aceste regimuri care se abat apreciabil de la regimul nominal. Pentru fiecare tip de perturbaţie este necesar să se examineze nu numai comportarea alternatorului ci şi a maşinilor şi aparatelor cu care formează ansamblul, cum ar fi turbina şi trasformatorul, precum şi sistemul de excitaţie. Experienţa de exploatare şi încercările de laborator au permis evaluarea şi determinarea importanţei variaţiei factorilor amintiţi. Concluzia care s-a desprins în urma efectuării acestor studii a fost că o coordonare corespunzătoare a releelor de protecţie şi a circuitelor de protecţie ale sistemului de excitaţie poate asigura o bună protecţie a alternatorului, ca şi a sistemului de excitaţie şi a altor componente ale schemei cum ar fi transformatorul principal. De asemenea, alternatorul trebuie să funcţioneze pe cît este posibil, cu regulatorul de tensiune automat în serviciu continuu. Trebuie prevăzute circuite de protecţie, care să cuprindă relee de protecţie astfel coordonate, încît să asigure o acţiune corectivă automată. Semnalul de alarmă trebuie să aibă drept scop principal prevenirea operatorului asupra acţiunii corective executate. Procedee de descărcare rapidă a maşinii combinate cu caracteristici îmbunătăţite ale sistemului de excitaţie pot reduce la minimum riscurile pentru echipamentul şi stabilitatea sistemului, în timpul unei funcţionări la frecvenţă joasă.

T. C.

CZ 621.313.33

Herbst, R. **Vîrfurile de anclanşare a curentului la motoarele asinerone** (Schaltstromspitzen bei Asynchronmotoren) În : ETZ—B, nr. 18, 1972, p. 457—459, 3 oscilogr, 2 scheme, 2 diagr.

În articol sînt arătate posibilităţile de reducere a vîrfurilor care apar la pornirea electromotoarelor prin comutarea stea/triunghi. Sînt cunoscute dezavantajele, care apar la această comutare, cum ar fi solicitarea mecanică a capetelor înfăşurării, încălzirea contactelor la comutator, căderi de tensiune în conductele de alimentare. Nu este vorba aici de vîrfurile de comutare statice, care se bazează pe graficele $I = f(n)$ la trecerea de la stea la triunghi, ci de şocurile dinamice scurte de curent, necesare remagnetizării, care adeseori nu durează decît 1/2 de perioadă dar care sînt mai mari decît la pornirea directă în triunghi a motorului. Cu ajutorul unor scheme şi al diagramelor corespunzătoare se demonstrează cum la anclanşarea în triunghi tensiunea dintre contactele ce urmează să se atingă, este mai mare decît tensiunea din reţea cu valoarea tensiunii reziduale produse, pe de o parte prin scăderea cîmpului magnetic al rotorului în colivie, iar pe de altă parte prin scăderea turajului din timpul întreruperii la comutare. Această tensiune reziduală este defazată faţă de tensiunea reţelei, reieşind o rezultantă, care, de pildă, la un motor a atins valoarea de 500 V (în loc de 380 V), putînd atinge şi 600 V la motoarele mari.

O primă idee pentru reducerea acestor vîrfuri de curent a fost intercalarea unor rezistenţe, care, natural, sînt scurtcircuitate după comutare (după pornirea în stea triunghi) şi care, ţinînd seama de durata redusă a trecerii de la stea la triunghi, şi deci, de încălzirea lor redusă, pot avea dimensiuni mici. O altă posibilitate tinde spre evitarea cauzelor de ridicare a tensiunii (reducerea cîmpului şi scăderea turajului) şi constă în faptul că fazele nu sînt comutate concomitent ci treptat, astfel că motorul rămîne racordat cu o fază la reţea în tot timpul comutării. Cu ajutorul diagramelor din lucrare este demonstrată şi o a treia soluţie pentru reducerea vîrfurilor. Se observă anume că tensiunea rezultantă în prima jumătate a perioadelor din timpul comutării poate scădea chiar sub 220 V pentru ca în continuare să crească. În baza oscilogramelor ridicate la un motor de 15 kW sînt arătate, într-un grafic, rezultatele obţinute după diferite sisteme, adică domeniile vîrfurilor de comutare în funcţie de cuplu. În încheiere sînt comparate din punct de vedere tehnic şi economic sistemele descrise pentru reducerea vîrfurilor.

Gh. C.

CZ 621.316 *Distribuţia şi reglajul energiei electrice*

CZ 537.523.5.001.24 : 621.3.064.1 : 621.316.923

Lipski, T. şi Zimny, P. **O contribuţie la calculul integralei Joule a arcului electric şi a energiei de comutaţie la siguranţele fuzibile limitatoare de curent.** (Ein Betrag zur Berechnung des Jouleschen Lichtbogenintegrals und der Ausschaltarbeit von strombegrenzenden Schmelzsicherrungen). În : Elektrotechnik und Maschinenbau 89, nr. 11, 1972, p. 461—464.

Se evaluează erorile care se fac la analiza procesului de comutaţie în siguranţele limitatoare de curent prin considerarea unei tensiuni de arc de formă rectangulară şi prin neglijarea rezistenţei circuitului. Analiza a numeroase oscilograme a unor încercări la scurtcircuit arată că ar fi mai convenabilă o formă triunghiulară pentru aproximarea tensiunii din momentul aprinderii arcului electric. Alura curbei la creşterea tensiunii de arc se datorează atît aprinderilor succesive a arcurilor între strangulaţii, cît şi alungirii arcului, fiind în esenţă determinată de construcţia siguranţei. Panta la descreşterea tensiunii de arc este dictată de elementele circuitului în care lucrează siguranţa. Calculele efectuate pe un calculator digital prin considerarea atît a rezistenţei siguranţei, cît şi a inductanţei şi capacităţii echivalente a reţelei, arată că neglijarea influenţei reţelei şi considerarea unei tensiuni dreptunghiulare de arc pot duce la erori de pînă la 50% în evaluarea integralei Joule şi la erori mult mai mari pentru energia de comutaţie. Se relevă importanţa evaluării erorilor la calculul energiei totale a arcului pentru o proiectare corectă a siguranţelor dat fiind că acest parametru determină solicitarea mecanică şi termică a siguranţei.

O.L.

СОДЕРЖАНИЕ

дк 621.3.015 : 612.014.424

Голованов, К.: **Физиологические эффекты прохода электрического тока через человеческий организм.**
Electrotehnica **21**, № 4, апрель 1973, стр. 129–136

Проводится синтез литературных данных относительно физиологических эффектов прохода электрического тока через человеческий организм, причем отмечается, главным образом, явление поражения током,.

Анализируются факторы, от которых зависит степень поражения электрическим током. Исследование электрических свойств живых организмов, проведенное автором, изучение переходного процесса в цепи, в которую включено человеческое тело, экспериментальные результаты, взятые из литературы, а также анализ статистик несчастных случаев, вызванных электрическим током, позволили сделать полезные для практики выводы.

дк 621.3.013 : 621.318.4

Шербэнеску, М.: **Способы влияния на интенсивность магнитного поля большой геликоидальной катушки, находящейся под затухающим колебательным током.**
Electrotehnica **21**, № 4, апрель 1973, стр. 137–141

Отмечается необходимость изучения геликоидальной катушки, а также метода деформации металлов вследствие электромагнитного расширенуия. Устанавливается выражение максимальной удельной соленации, как главного первичного фактора, влияющего на интенсивность магнитного поля геликоидальной катушки, находящейся под затухающим колебательным током. Приводятся кривые изменения максимальной удельной соленации в зависимости от параметров катушки и разрядной цепи, с их обычными значениями, которые могут служить для оптимизации проектирования.

дк 621.313.33–57

Турку, И. и *Русу, Х.:* **К вопросу пуска контролируемым ускорением электрических асинхронных двигателей.**
Electrotehnica **21**, № 4, апрель 1973, стр. 141–145

Рассматривается пуск с переменным ускорением трёхфазного асинхронного двигателя с кольцами при помощи магнитных усилителей. Выводится графически-аналитическим путем и подтверждается экстпериментально способ изменения оперативного тока магнитных усилителей в зависимости от скорости, для получения требуемого изменения момента вращения, с применением обратной связи скорости от тахометрического генератора.

дк 621.314.21.001.57 : 621.3.064.1

Песич, М.: **Срок службы обмоток на трансформаторе, предназначенном для испытаний на короткое замыкание.**
Electrotehnica **21**, № 4, апрель 1973, стр. 145–150

Специальный трансформатор, предназначенный для испытаний на короткое замыкание имеет отличительный термический режим обмоток. После изложения факторов, действующих на изоляцию обмоток и ускоряющих её старение, автор дает определение зависимостей, позволяющих проверять эти термические воздействия в соответствии с законом Montsinger-a. Представленные формулы относятся к процентной потере срока службы обмоток в течение одного короткого замыкания и после его прекращения, во время охлаждения, в области температур, находящихся над предельными номинальными температурами. Дается несколько примеров короткого замыкания специфического характера. с соответствующими потерями срока службы трансформатора. Приводится диаграмма, из которой можно вывести удельный вес элементов, влияющих на эти потери.

дк 621.335.625.282–82

Негряну, А.: **Увеличение возможностей использования подвижного электрического состава путем ослабления поля индукции.**
Electrotehnica **21**, № 4, апрель 1973, стр. 151–155

ДЛЯ МОЛОДОГО ИНЖЕНЕРА
дк 621.313.322–82

Опаски, М. **Определение основных размеров махового момента и числа витков на оптимальной фазе для синхронных вертикальных гидрогенераторов.**
Electrotehnica **21**, № 4, апрель 1973, стр. 156–163

ДОСТИЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 163
РЕЦЕНЗИИ 165
ДОКЛАДЫ 167

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.014 : 612.014.424

Golovanov, C. : **Physiologische Auswirkungen des Durchströmens des menschlichen Organismus vom elektrischen Strom**
Electrotehnica **21**, H. 4, April 1973, S. 129–136

Der Verfasser nimmt eine Synthese der, in der Fachliteratur vorhandenen Daten über die physiologischen Auswirkungen des Stromdurchgangs durch den menschlichen Organismus, mit besonderem Hinweis auf Stromschläge vor.

Es werden die Faktoren analysiert, von denen der Ernst der Auswirkungen eines Stromschlags bedingt ist. Eigene Untersuchungen in bezug auf die elektrischen Eigenschaften lebender Organismen sowie die zeitlich veränderlichen Prozesse innerhalb des, in einen Stromkreis gerätenen menschlichen Körpers, ferner Versuchsergebnisse aus der Fachliteratur und eine statistische Analyse im Zusammenhang mit Unfällen durch Stromschläge, ergaben nützliche Schlussfolgerungen für die praktische Tätigkeit.

DK 621.3.013 : 621.318.4

Şerbănescu, M. : **Beeinflussungsmöglichkeit der Intensität des grosste Magnetfeldes der, von einem gedämpften schwingenden Strom durchflossenen Spiralspule**
Electrotehnica **21**, H. 4, April 1973, p. 137–141

Es wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, die Spiralspulen im Zusammenhang mit der Metallverformung durch magnetische Ausdehnung zu untersuchen. Es wird der Ausdruck der maximalen spezifischen Amperewindung festgelegt, der als vorrangiger Faktur zur Beeinflussung der Intensität des Magnetfeldes einer Spiralspule, die von gedämpftem schwingendem Strom durchflossen wird, angesehn ist. Ferner werden die Veränderungskurven der maximalen spezifischen Amperewindung im Verhältnis zu den Parametern der Spule und des Entladekreises für deren übliche Werte aufgezeichnet, die für die Optimalgestaltung der Entwurfstätigkeit von Nutzen sind.

DK 621.313.33–57

Turcu, I. und *Rusu, H.* : **Beiträge zum Anlaufen des Asynchronmotors mit gesteuerter Beschleunigung**
Electrotehnica **21**, H. 4, April 1973, S. 141–145

Für ein Anlaufen mit veränderlicher Beschleunigung von Drehstromasynchronmotoren mit Schleifringen, werden Steuerdrosseln verwendet. Durch graphische und analytische Methoden und experimentelle Verfahren wird dir Art und Weise festgelegt, in der Steuerstrom der Drossel im Verhältnis zur Geschwindigkeit verändert werden muss, um die gewünschte Veränderung des Drehmoments zu erzielen. Zu diesem Zweck wird eine umgekehrte Geschwindigkeitsverbindung zu einem tachometrischen Generator hergestellt.

DK 621.314.21.001.57 : 621.3.064.1

Pesici, M. : **Lebensdauer der Windungen eines Transformators für Kurzschlussversuche**
Electrotehnica **21**, H. 4, April 1973, S. 145–150

Der Spezialtransformator für Kurzschlussversuche weist in den Windungen einen besonderen Wärmezustand auf. Nach einer Aufzählung der Ursachen, die sich auf die Isolation der Windungen auswirken und eine Alterung zur Folge haben, ermittelt der Verfasser die Relationen, die eine Steuerung dieser Wärmebelastungen, im Verhältnis zum Montsingerischen Gesetz ermöglichen. Die dargelegten Formeln beziehen sich auf den prozentuellen Rückgang der Lebensdauer der Windungen während eines Kurzschlusses, nach der Abschaltung und während der Abkühlung im Temperaturbereich über der Schwelle der Nenngrenztemperatur. Es werden einige Beispiele für Kurzschlüsse mit spezifischem Charakter und dem daraus resultierendem Rückgang der Lebensdauer des Transformators angeführt. Aus einem Diagramm kann der Anteil der Elemente, die diesen Rückgang beeinflussen, abgelesen werden.

DK 621.335 : 625.282 – 83

Negreanu, A. : **Erhöhung der Nutzungsmöglichkeiten des elektrischen rollendem Materials durch Abschwächung des Induktionsfeldes.**
Electrotehnica **21**, H. 4, April 1973, S. 151–155

FÜR DEN JUNGEN INGENIEUR
DK 621.313.322–82

Opaschi, M. : **Bestimmung der Hauptabmessungen des Steuermoments und der Windungszahl je Optimalphase für senkrechte synchrone Wasserkraftgeneratoren**
Electrotehnica **21**, H. 4, April 1973, S. 156–163

LEISTUNGEN AUS DER INDUSTRIE 163
BUCHSBEPRECHUNGEN 165
REFERATE 167

SOMMAIRE

CD 621.3.014 : 612.014.424

Golovanov, C. : **Effets physiologiques dûs au passage du courant électrique à travers l'organisme humain.**

Electrotehnica **21**, no. 4, avril 1973, p. 129–136

On présente une synthèse des données indiquées dans la littérature, concernant les effets physiologiques dûs au passage du courant électrique à travers l'organisme humain, en se rapportant spécialement au phénomène d'électrocution.

On analyse les facteurs dont dépend la gravité des effets de l'électrocution. Des recherches personnelles concernant les propriétés électriques des organismes vivants, une étude sommaire du processus transitoire dans le circuit dans lequel le corps humain est inclu, des résultats expérimentaux présentés dans la littérature ainsi qu'une analyse des statistiques se rapportant aux accidents provoqués par le courant électrique, ont permis de tirer certaines conclusions utiles pour la pratique.

CD. 621.3.013 : 621.318.4

Şerbănescu, M. : **Modalités par lesquelles on influence l'intensité du champ magnétique de la bobine massive hélicoïdale parcourue par un courant oscillatoire amortisé.**

Electrotehnica **21**, no. 4, avril 1973, p. 137–141

On présente la nécessité d'étudier la bobine hélicoïdale, étude en rapport avec le procédé de déformation des métaux par expansion électromagnétique. On établit l'expression de la force magnétomatrice spécifique maxima, considérée comme facteur primaire essentiel qui influence l'intensité du champ magnétique de la bobine hélicoïdale parcourue par un courant oscillatoire amortisé. On présente les courbes de la variation de la force magnétomotrice spécifique maxima en rapport avec les paramètres de la bobine et du circuit de décharge, pour des valeurs usuelles de ces derniers, utiles lors de l'optimisation de l'élaboration des projets.

CD 621.313.33–57

Turcu, I. et *Rusu, E.* : **Contributions concernant le démarrage à accélération du moteur électrique asynchrone.**

Electrotehnica **21**, no. 4, avril 1973, p. 141–145

On traite du démarrage à accélération variable d'un moteur asynchrone triphasé à anneaux, à l'aide des amplificateurs magnétiques. On déduit, par voie grapho-analytique et on confirme expérimentalement le mode par lequel on doit modifier le courant de commande des amplificateurs magnétiques en rapport avec la vitesse pour obtenir la variation voulue du couple moteur, en utilisant une liaison inverse de la vitesse à partir d'un générateur tachométrique.

CD 621.314.21.001.57 : 621.3.064.1

Pesici, M. : **La durée de fonctionnement des enroulements du transformateur destiné aux essais de courtcircuit.**

Electrotehnica **21**, no. 4, avril 1973, p. 145–150

Le transformateur spécial, destiné aux essais de court-circuit à un régime thermique spécial des enroulements. Après avoir présenté les causses qui affectent l'isolation des enroulements accélérant leur vieillissement, l'auteur expose la détermination des relations qui permettent le contrôle de ces sollicitations thermiques, en rapport avec la loi de Montsinger. Les formules présentées se réfèrent aux pourcentages des pertes concernant la durée de fonctionnement des enroulements au cours d'un courtcircuit et après qu'il a cessé, pendant le refroidissement, dans le domaine des températures situées au-dessus du palier de la temperature — limite nominale. On cite quelques exemples de courtcircuit ayant un caractère spécifique, ainsi que les pertes de la durée de fonctionnement qui en résultent, du transformateur. On présente un diagramme au moyen duquel on déduit la valeur des éléments qui influencent ces pertes.

CD 621.335 : 621.282–82

Negreanu, A. : **L'augmentation des possibilités d'utilisation du matérial roulant électrique par la réduction du champ inducteur.**

Electrotehnica **21**, no. 4, avril 1973, p. 151–155

POUR LE JEUNE INGÈMIEUR

CD 621.313.322–82

Opaschi, M.: **Le détermination des dimensions principales du moment de volant et du nombre d'enroulements sur la phase optima des hydrogénérateurs verticaux synchrones.**

Electrotehnica **21**, no. 4, avril 1973, p. 156–163

RÉALISATION PANS L'INDUSTRIE 163

COMPTES-RENDUS 165

RÉFÉRATS 167

OMSZ. MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS MÚZEUM 1883

CONTENTS

D.C. 621.3.014 : 612.014.424

Golovanov, C. : **Physiological effects caused by electric current passing through human body.**

Electrotehnica **21**, No. 4, April 1973, p. 129–136

The author presents a synthesis of literature data about the physiological effects caused by electric current passing through the human body, and particularly about the electrocution phenomenon.

The paper analyses the factors on which the seriousness of electrocution effects dependes.

Own research upon the electric properties of live organisms, a succint study of the transitory process of the circuit in which the human body is incorporated, experimental results provided by literature, as well as an analysis of statistics regarding accidents caused by electric current which have enabled the author to draw useful conclusions for practice.

D.C. 621.3.013 : 621.318.4

Şerbănescu, M.: **Ways of influencing the magnetic field strenght of a spiral coil through which flows a damped oscillating current.**

Electrotehnica **21**, No. 4, April 1973, p. 137–141

The author demonstrates the necessity of studying the spiral coil implied by the method of deforming metals through electromagnetic expansion. There is established the expression of maximum specific solenation, considered as essential primary factor influencing the magnetic field of a helical coil through which flows a damped oscillating current. There are given variation curves of maximum specific solenation function of coil and discharge circuit parameters, for their usual values, which may be used for design optimizing.

D.C. 621.313.33–57

Turcu, I., and *Rusu H.*; **Contribution to asynchronous electric motor starting with controlled acceleration.**

Electrotehnica **21**, no. 4, April 1973, p. 141–145

It is dealt with the variable acceleration starting of a slipring threephase asynchronous electric motor by means of magnetic amplifiers. By means of a graphical-analytical method, is deduced and it is experimentally confirmed the manner in which the magnetic amplifiers control current should be changed, function of speed, in order to obtain the required variation of the driving torque, by using a speed contary connection from a tacho-generator.

D.C. 621.314.21.001.57: 621.3.064.1.

Pesici, M. : **Life duration of windings of a transformer designed for short-circuit tests.**

Electrotehnica **21**, no. 4, April 1973, p. 145–150

The special transformer, designed for short-circuit tests, has a particular urndings thermal regime. After enumerating the causes affecting the windings insulation by accelerating its ageing, the author are making known how were determined the relations allowing to control these thermal stresses with respect to Montsinger's law.

The submitted formulae relate to the percentage loss from the windings life duration during a short-circuit, and after this ceases while, cooling, within the temperatures range placed above the nominal limit temperature plateau region.

There are mentioned few specific character short-circuits examples, with the resulting transformer life duration losses. There is displayed a diagram from which may be deduced the weight of elements influencing these losses too.

D.C. 621.335 : 625.282–83

Negreanu, A. : **Increase of electric raibroad rolling stock utilization possibilities by reducing the inducing field.**

Electrotehnica **21**, no. 4, April 1973, p. 151–155

FOR THE YOUNG ENGINEER

D.C. 621.313.322–82

Opaschi, M. : **Determination of the main size of flay wheel torque and of optimum phase number of loops for vertical synchronous hydro-generators.**

Electrotehnica **21**, no. 4, April 1973, p. 156–163

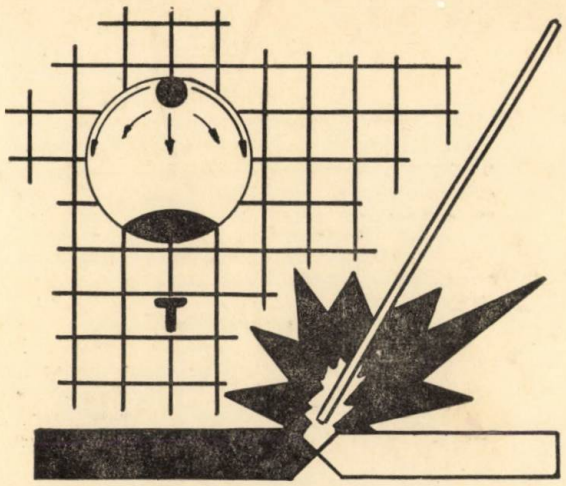
ACHIEVEMENTS IN INDUSTRY 163

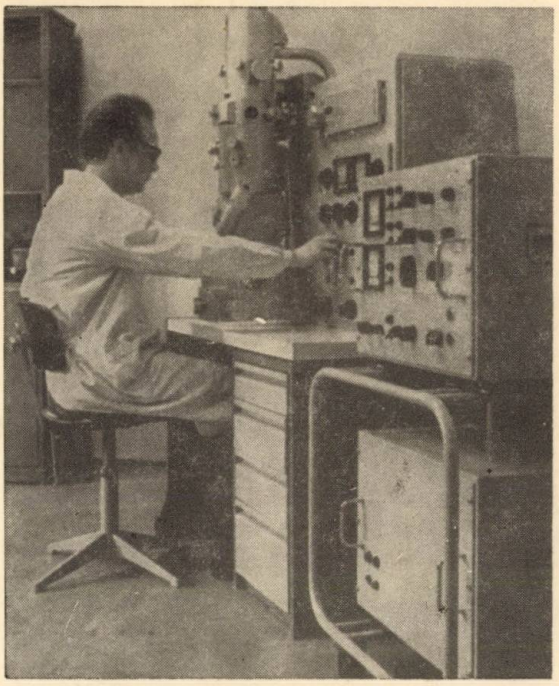
REVIEWS 165

PAPERS 167

M.I.C.M.— D.G.D.R.I.

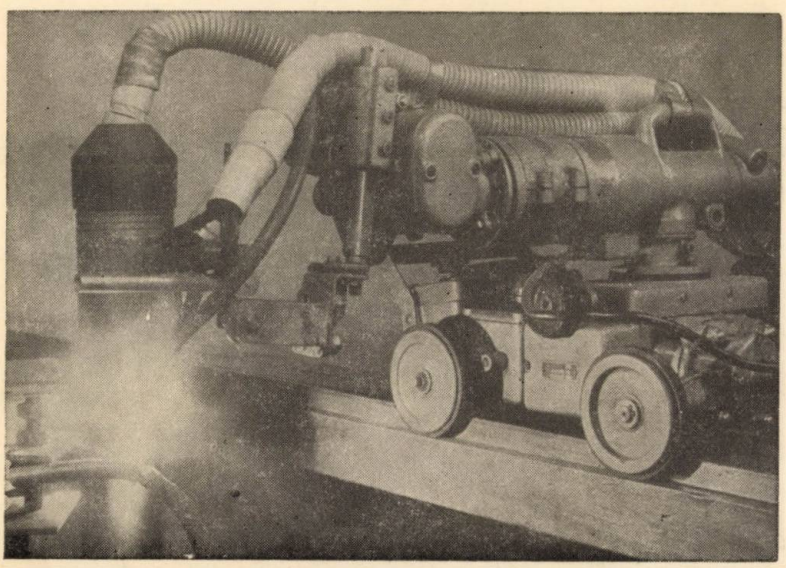
CENTRUL DE SUDURA SI INCERCARI LA OBOSEALA TIMISOARA





EFECTUEAZĂ, PE BAZĂ DE CONTRACTE, STUDII ŞI CERCETĂRI PRIVIND:

- Tehnologii de sudare a oţelurilor
- Tăiere şi sudare cu plasmă şi microplasmă
- Dezvoltarea materialelor pentru sudare — oţeluri, electrozi, fluxuri
- Examinarea compatibilităţii la sudare (metale, materiale de adaos)
- Încercări mecanice pentru metale şi îmbinări sudate
- Control defectoscopic — ultrasonic şi magnetic
- Examinări la frecare-uzare, pentru metale şi garnituri de fricţiune
- Analize chimice — analize metalografice — optice şi electronice
- Determinări extensometrice (mecanice, optice, electrice)



ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ ŞI ORGANIZEAZĂ CURSURI DE SPECIALIZARE

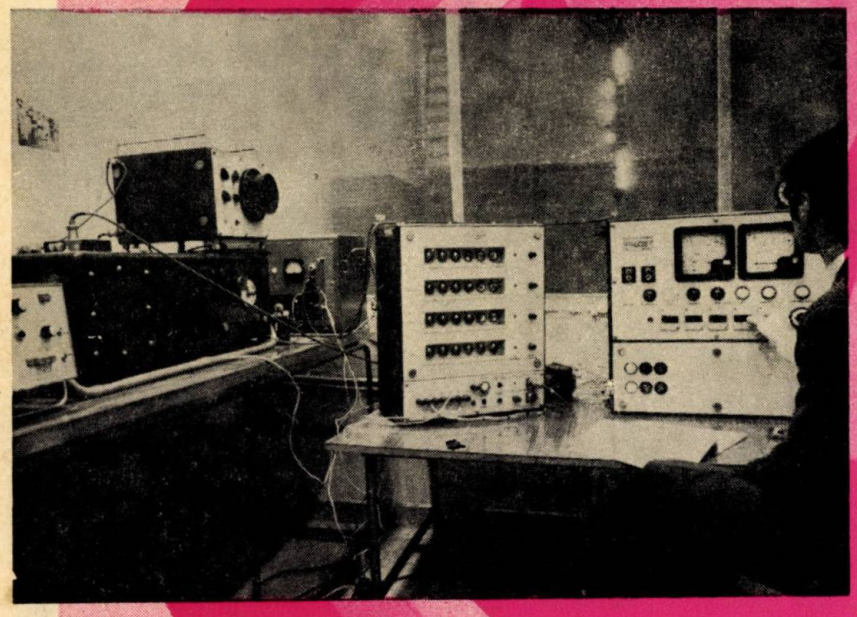
CSIO

TIMIŞOARA
Bd. Mihai Viteazu nr. 30
Telefon 1.32.68—8.19.42

INSTITUTUL DE CERCETARE SI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICA

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I

1973 JUL 1 01



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive !

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine !

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dvs., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele !

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite ?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 ani în activitate care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

Telefonați la : 31.41.00

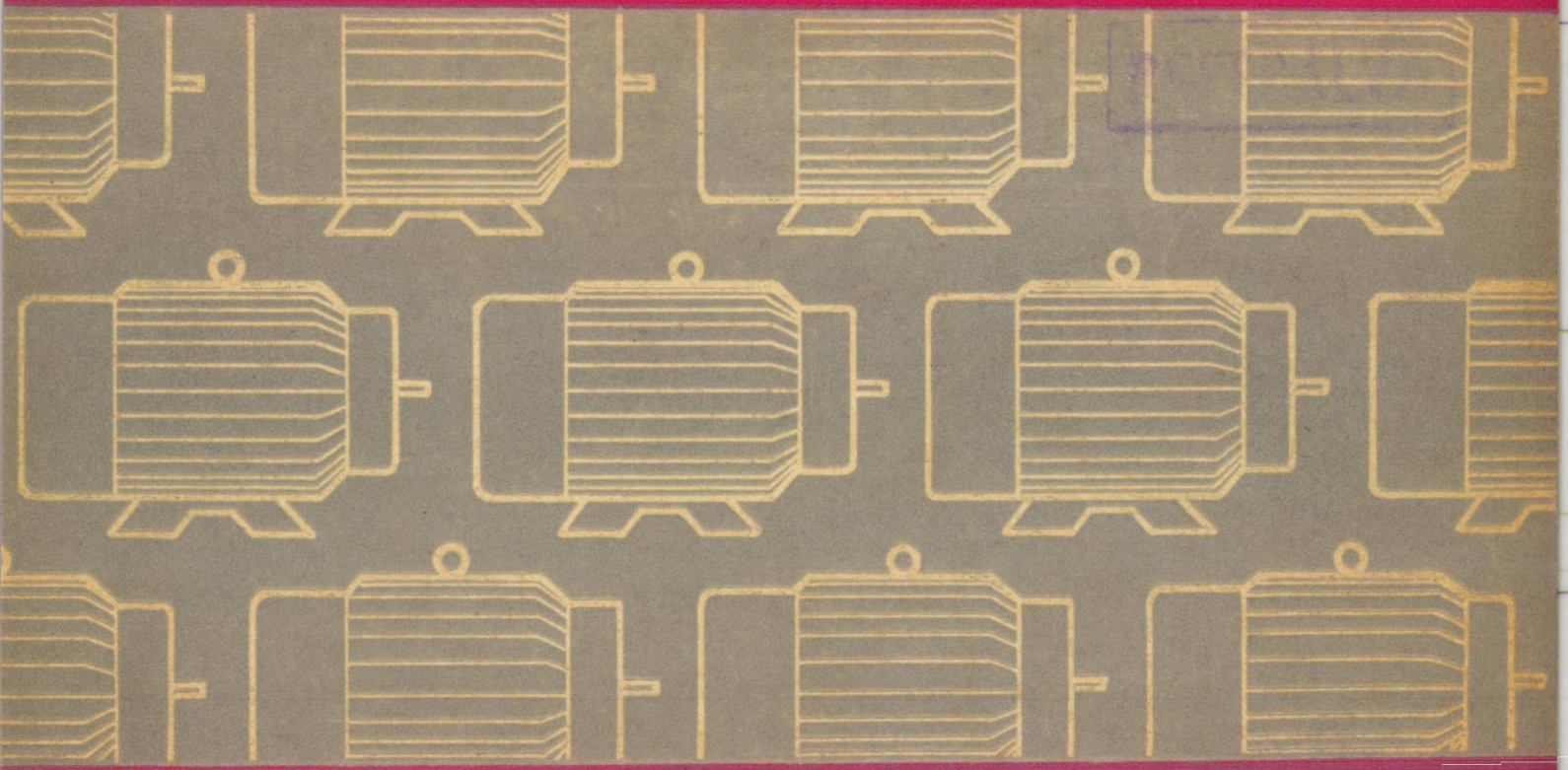
BUCUREȘTI BD. T. VLADIMIRESCU Nr. 45 - 47 — Telefon : 31.41.00

I C P E

E 2040

R

ELECTROTEHNICA



5

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 21 • Nr. 5 • MAI 1973

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

REZISTOARE
- cu peliculă de carbon
- bobinate

TERMISTOARE
- ceramice

CONDENSATOARE
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
- normale
- miniatură
- nepolarizate

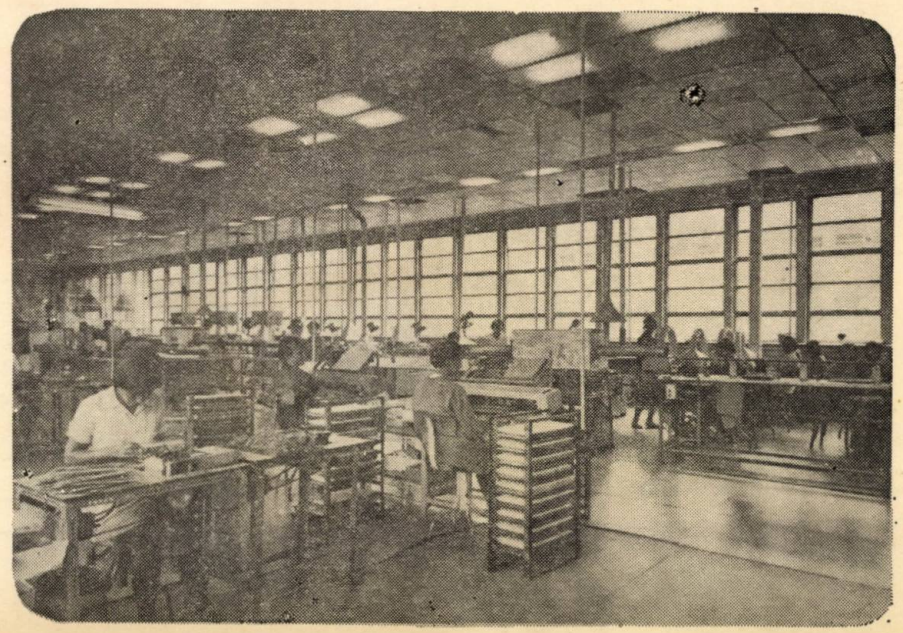
CONDENSATOARE CERAMICE
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

TRANZISTOARE
- de joasă frecvenţă
- de înaltă frecvenţă şi comutaţie
- de putere

DIODE
- de semnal şi comutaţie
- redresoare
- redresoare pentru curenţi mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE



ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 5, pag. 169 — 208 mai 1973

CUPRINS

CZ 621.312 :621.317.2.027.3/7 – 621.386.843

Marinescu, A. : **Ecranarea electromagnetică a laboratorului de înaltă tensiune de la Electroputere — Craiova**

Electrotehnica 21, nr. 5, mai 1973, p. 169–180

Se tratează problema ecranării electromagnetice a laboratoarelor moderne de înaltă tensiune, echipate pentru măsurarea descărcărilor parțiale, produse de echipamentul electric de înaltă tensiune. După analiza posibilităților de calcul al ecranării se descriu : soluția aplicată la noul laborator de înaltă tensiune al uzinei Electroputere Craiova și performanțele realizate.

CZ 621.314.2.015.33 : 681.32

Răducan, I. și *Călin, Gh.* : **Calculul repartiției inițiale a tensiunii de impuls în transformatoare de putere, utilizînd calculatoare cifrice.**

Electrotehnica 21, nr. 5, mai 1973, p. 180–184

Se expun principiile unei metode de calcul al repartiției inițiale a tensiunii de impuls în transformatoare de putere, pornind de la o schemă echivalentă capacitivă, îmbunătățită față de schemele utilizate în teoriile clasice, prin faptul că se introduc și capacități ale înfășurărilor de reglaj și ale înfășurărilor de joasă tensiune. Spre deosebire de alte metode, poate fi utilizată și în cazul conexiunilor autotransformatorice, iar în cazul transformatoarelor de reglaj sub sarcină, precizia calculelor este îmbunătățită. Metoda este generală, pentru orice neomogenitate a înfășurărilor.

Se dau o serie de rezultate obținute și comparații cu experiențele pe original.

CZ 621.315. 621.6+614.73

Nicola, Gr. : **Materiale stratificate, rezistente la temperaturi înalte, realizate în țară.**

Electrotehnica, 21, nr. 5, mai 1973, p. 185–190

Se prezintă studiile efectuate privind comportarea materialelor stratificate cu suport țesătură de sticlă și diferite rășini sintetice, fabricate în prezent la FCME, la temperatura de 250° C.

Drept criteriu pentru încercare a fost ales rezistența la încovoiere, pierderile în greutate, rezistența la compresiune, rezistența la despicare, încercarea la tensiune și rezistența electrică între fișe.

CZ 621. 315. 611 :537.533.3

Hafner, A : **Utilizarea microscopiei electronice la studiul structurii materialelor electrotehnice și electronice.**

Electrotehnica 21, nr. 5, mai 1973, p. 191–197

Precizînd necesitatea utilizării microscopiei electronice ca metodă de investigare a structurii unor materiale utilizate în industria electrotehnică și electronică, lucrarea prezintă rezultatele obținute în acest domeniu, în perioada 1967–1971, în cadrul Secției de Cercetări Fizico-Chimice din I.C.P.E.

CZ 621.317.726.085. 4 : 621.382.2

Brașovan, I., Storosciuc, M. și *Harko, St.* : **Voltmetre de tensiune alternativă cu scara extinsă cu diode Zener.**

Electrotehnica 21, nr. 5, mai 1973, p. 197–201

Se prezintă calculul voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrșit cu ajutorul diodelor Zener. Rezultatele calculului s-au aplicat la studiul proprietăților specifice ale acestor voltmetre, precum și la dimensionarea lor. Verificările experimentale au confirmat justețea și utilitatea practică a calculelor.

REALIZĂRI ALE INDUSTRIEI ROMÂNEȘTI 202

NOI MATERIALE DOCUMENTARE 206

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE 207

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; ing. VL. POPOVICI; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director : 50.23.25 Redacția : București, str. Mândinești nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90..87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 2159. *Taxele poștale pentru anul 1973 plătite în cont-avans conform aprobării D.G.P. nr. 137/10078/1972*

41 400

ABONAȚI-VĂ
la revistele:
CONSTRUCȚIA DE MAȘINI
ELECTROTEHNICA
AUTOMATICA ȘI ELECTRONICA

MŰSZAKI KÖNYVTÁRES

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI-UNELTE ȘI ELECTROTEHNICII ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ȘI PUBLICAȚII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 nr. 5 București, mai 1973

Ecranarea electromagnetică a laboratorului de înaltă tensiune de la Electroputere—Craiova

ANDREI MARINESCU* — Craiova

CZ 621.312 :621.317.2.027.37 – 621.386.843

1. Introducere

Ecranarea electromagnetică a laboratoarelor de înaltă tensiune se practică abia de două decenii și apare ca o necesitate datorită apropierii acestora de secțiile de producție, sau cercetare care utilizează aparatură electronică, calculatoare etc. (asigură compatibilitatea reciprocă a instalațiilor), și datorită necesității de a măsura perturbații radio sau descărcări parțiale, produse de echipamentul electric de încercat.

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească sînt următoarele:

— să nu transmită în exterior perturbațiile electromagnetice, care apar la descărcările de înaltă tensiune din laborator;

— să amortizeze cîmpurile electromagnetice perturbatoare, care pătrund din exterior (de exemplu, de la un emițător radio, etc.) pentru a face posibilă executarea unor măsurători precise de perturbații radio sau descărcări parțiale.

În afară de acestea, ecranarea realizează:

— o distribuție mai uniformă a cîmpului electric în spațiul de încercare, în special în regim tranzitoriu;

— descărcarea instalației de pămîntare; capacitățile parazite dintre electrozi (aflați la înaltă tensiune) și ecran se descarcă prin acesta din urmă.

Ecranarea electromagnetică a unui spațiu de încercare nu poate fi realizată, practic, ca o ecranare omogenă, fiind absolut necesar să se prevadă, de exemplu, porți pentru introducerea obiectului de încercat, uși pentru personalul de deservire, ferestre pentru camera de comandă aferentă și alte deschideri necesare pentru asigurarea ventilației sau introducerea circuitelor de alimentare cu energie electrică, apă, ulei sau aer comprimat.

Rezultă de aici, că elementul cu efectul de ecranare cel mai redus determină soluția de ales pentru restul ecranării, sau altfel spus, determină atenuarea cu posibilitate maximă de realizat.

În același timp, nu trebuie pierdut din vedere aspectul economic, de loc neglijabil, legat de costul ecranării unei suprafețe desfășurate, destul de mari, care în cazul laboratorului de la Craiova reprezintă circa 7500 m².

De asemenea, într-un laborator ecranat electromagnetic toate conductele de alimentare cu energie electrică, care pătrund în spațiul de încercare, trebuie să fie prevăzute cu filtre trece-jos a căror atenuare trebuie să fie cel puțin egală cu cea introdusă de ecran.

Măsurătorile de descărcări parțiale sînt făcute, de obicei, cu ajutorul unor aparate de măsurare cu bandă largă, în domeniul 0,01÷1 MHz [1]. Pînă în momentul de față nu a fost stabilită sarcina aparentă minimă, care trebuie să fie măsurată la un echipament de înaltă tensiune. Se consideră, însă, în mod unanim [2 — 7], că o atenuare de circa 60 dB (1000 ori) a perturbațiilor exterioare în domeniul de frecvență de mai sus permite o detectare a acelor descărcări parțiale, care afectează durata de viață a izolației.

In tabela 1 se dau principalele date referitoare la ecranarea electromagnetică a laboratoarelor de înaltă tensiune construite în Europa în ultimii ani.

1. Particularități ale funcționării laboratoarelor de înaltă tensiune, ecranate electromagnetic

1.1. Corelarea între instalația de pămîntare și ecranarea electromagnetică a laboratorului.

Realizarea practică a instalației de pămîntare a laboratorului de înaltă tensiune de la Craiova s-a descris pe larg în [8]. S-a arătat

* Ing. *A. Marinescu* este șeful laboratorului de înaltă tensiune de la GUAME-Craiova.

Tabela 1

Nr. crt.	Bibliografia	Laboratorul, dimensiuni $X_0 \times Y_0 \times Z_0$, m	Soluția de ecranare				Atenuarea la frecvența dB/MHz	Trecerea conductelor prin ecran	
			Pereți	Podea	Tavan	Ferestre Porți Uși		Forța	Comandă măsură
1.	[2]	BBC-Mannheim (R.F.G.) 42 × 31 × 24	Folie cupru < 0,1 mm	—	—	porți metalice	50/0,01 75/0,1 <80/0,2 ÷ 200	Toate conductele cu filtre de perturbații	
2.	[3]	Elin-Weiz (Austria) 48 × 26 × 22	tablă oțel 1,2 mm găurită	tablă expandată Cu 3 mm 60 × 19 mm	tablă Fe ambutisată	porți metalice, ferestre cu sticlă armată	50 — 60/1,0	trafo izolare	în manta de tablă legată la ecran
3.	[4]	ASEA-Ludvika (Suedia) 35 × 32 × 35	hală complet metalică	tablă expandată Cu	—	—	50 ÷ 60/1,0	—	în țevi metalice legate la ecran
4.	[5]	EdF-Les Renardieres 65 × 65 × 45 (Franța)	tablă de oțel galvanizată	placă continuă de Cu	—	—	100/0,1 80/1,0 50/10,0	filtru de perturbații 3 MVA 10 kV 80 dB	—
5.	[6]	MWB-Bamberg (R.F.G.) 35 × 22,5 × 20	plasă de oțel zincat 10 × 10 mm Ø 0,9 mm	la fel ca pereții	—	ferestre duble cu plasă intercalată	70/2,0	în țevi de oțel	
6.	[7]	TH-München (R.F.G.) 34 × 23 × 19	idem, 10 × 10 mm Ø 1 mm	la fel ca pereții	la fel ca pereții	uși metalice	65/1,0	în tuburi Panzer	
7.		Electroputere Craiova (România) 48 × 32 × 27	tablă expandată oțel 1 mm 16 × 6,3 mm	tablă expandată oțel 2 mm 63 × 20 mm	la fel ca pereții	porți metalice, ferestre ecran, cu plasă de Cu 100 × 100 mm Ø 1 mm	50 ÷ 75/1,3	cabluri ecranate	cabluri ecranate și dublu ecranate

acolo, că la un laborator complet ecranat electromagnetic, descărcarea capacităților parazite în timpul funcționării instalațiilor se face prin pereții ecranului și că valoarea rezistenței de punere la pămînt a ecranului nu are rol hotărîtor ca în cazul laboratoarelor neecranate.

Din cercetările făcute de Möller [9] rezultă că, practic, căderile de tensiune în pereți, pot fi considerate constante pe înălțimea acestora. În schimb în podea căderile de tensiune cresc după o lege neliniară de la pereți spre locul unde este dispus obiectul de încercat. Deoarece circuitele de măsurare sînt dispuse în imediata apropiere a ecranului de pardoseală, care în același timp servește și drept conductă de întoarcere pentru curentul de șoc [10], este foarte important să se asigure o repartiție cît mai uniformă a potențialului pe podeaua halei de înaltă tensiune. Acest lucru se realizează, practic, folosind contribuția ecranului de pardoseală, care leagă suplimentar între ele prizele de pămînt de adîncime și a cărui dimensionare se face ținînd seama de căderea de tensiune admisibilă [11].

1.2. Frecvența de rezonanță a unei încăperi ecranate electromagnetic.

O încăpere ecranată electromagnetic este echivalentă unei cavități rezonante [12], dacă în interiorul ei se crează un cîmp electromagnetic. Acest lucru se întîmplă ori de cîte ori, în laborator, apare o descărcare disruptivă.

Lungimea de undă de rezonanță pentru o undă de cîmp electric, în cazul formei paralelipipedice, este dată de relația [13]:

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{n}{Y_0}\right)^2 + \left(\frac{p}{Z_0}\right)^2}}. \qquad (1)$$

Spre deosebire de ghidul de undă, care lucrează în mod continuu la orice frecvență superioară frecvenței critice cavitatea rezonantă intră în rezonanță pe anumite frecvențe, repartizată într-un spațiu discret, corespunzătoare unei combinații a valorilor numerelor întregi m, n și p.

Într-un laborator de înaltă tensiune, prin dispunerea verticală a eclatorului cu sfere, apare oscilația cu frecvența cea mai joasă tip E_{110} (fig. 1). Acest tip de oscilație este indepen-

dent de înălțimea Z_0 a cavității iar lungimea de undă corespunzătoare cavității goale este :

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{1}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{Y_0}\right)^2}}. \qquad 2)$$

Pentru dimensiunile laboratorului de la Craiova, cu $X_0 = 48$ m, $Y_0 = 32$ m și $Z_0 = 27$ m, se obține : $\lambda_0 = 53{,}5$ m adică o frecvență de rezonanță de 5,6 MHz.

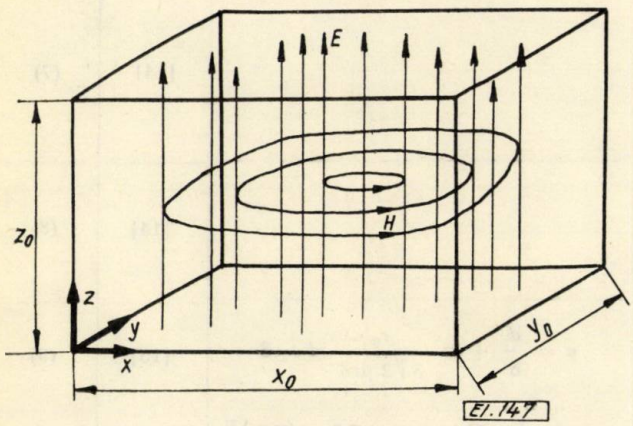


Fig. 1. Cavitate rezonantă paralelipipedică pentru oscilația tip E_{110} (echivalentă unui laborator de înaltă tensiune cu eclator cu sfere, vertical).

În prezența eclatorului cu sfere, a instalațiilor de încercare, a obiectului de încercat etc., această frecvență de rezonanță scade, mai mult sau mai puțin, în funcție de dispunerea și dimensiunile geometrice ale instalațiilor, ca și de capacitatea acestora față de ecran.

Din cele de mai sus se poate trage o concluzie importantă referitoare la dimensionarea ecranării electromagnetice a laboratorului și anume că, în timpul funcționării instalațiilor de încercare pot să apară fenomene tranzitorii, care să conducă la rezonanțe pe frecvențe pînă la cca 5 MHz. Trebuie, deci, să se urmărească modul de variație al atenuării, pînă la această frecvență, pentru a se evita perturbarea instalațiilor din vecinătatea laboratorului, cu toate că valoarea atenuării este impusă numai la 1 MHz.

2. Predeterminarea prin calcul a eficienței ecranării electromagnetice

Efectul de ecranare este definit de raportul dintre intensitatea cîmpului electric, sau magnetic, în interiorul zonei ecranate (E_i sau H_i) și intensitatea cîmpului electric, sau magnetic, în exteriorul acesteia (E_e sau H_e), care se numește factor de ecranare :

$$Q = \frac{E_i}{E_e} \quad \text{sau} \quad Q = \frac{H_i}{H_e}, \qquad (3)$$

și care este, în general, o mărime complexă [14].

Efectul de ecranare față de un cîmp electromagnetic se studiază separat pentru componenta electrică și cea magnetică a cîmpului (cu toate că raportul lor este constant, fiind egal cu impedanța de undă $Z_0 = 377\Omega$), deoarece acestea se pot măsura foarte comod, separat, cu o antenă baston sau dipol, respectiv cu o antenă cadru.

Ca măsură pentru eficiența ecranării se folosește în practică noțiunea de atenuare definită de relația :

$$a = \ln \frac{1}{|Q|} \; [N_p], \qquad (4)$$

adică :

$$a^E = \ln \frac{E_e}{E_i} \; [N_p]$$

sau

$$a^E = 20 \log \frac{E_e}{E_i} \; [\mathrm{d}B]. \qquad (4')$$

Ecranarea față de cîmpul electric se realizează fără greutate : o clădire complet ecranată cu tablă sau folie metalică reprezintă, la frecvențe joase, o ecranare perfectă pentru cîmpul electric care este nul în interior, atîta timp cît acolo nu există o sursă de perturbații. Aceasta corespunde principiului cuștii Faraday, care este deplin valabil numai în cîmpul electrostatic.

Efectul de ecran al unei cuști metalice față de un cîmp magnetic depinde de producerea curenților turbionari deci, cîmpurile statice nu sînt atenuate.

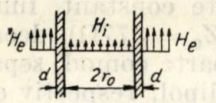
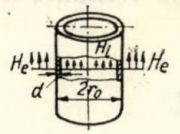
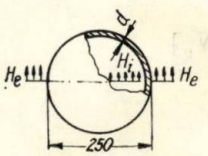
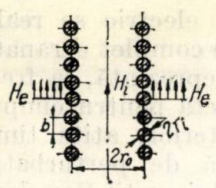
La ecranele din materiale magnetice, permeabilitatea ridicată, face ca la frecvențe peste 200 kHz să fie compensată, de exemplu, conductibilitatea mai proastă a fierului față de cupru.

2.1. Calculul atenuării în regim cvasistaționar

În monografia lui Kaden [14] se calculează teoretic atenuarea introdusă de un ecran în regim cvasistaționar, adică în domeniul de frecvență, în care se poate considera că lungimea de undă a radiației este mare, în comparație cu dimensiunile geometrice ale încăperii ecranate.

În tabela 2 se prezintă sintetic, formulele de calcul ale atenuării pentru trei forme geometrice simple : două plăci paralele infinite (problema unidimensională), cilindrul infinit lung (problema bidimensională) și sfera goală (problema tridimensională).

Tabela 2

	$Q = E_i/E_e$ sau H_i/H_e	$a = \ln (1/Q)$ [N_p]	Bibliografie	Relaţia
	$Q = \dfrac{1}{\operatorname{ch} kd + K \operatorname{sh} kd}$	$a \approx \dfrac{1}{2} \ln \left[1 + \left(\dfrac{2 r_0 d}{\mu r \delta^2}\right)\right] \quad d < \delta$ $a \approx \dfrac{d}{\delta} + \ln \dfrac{r_0}{\sqrt{2 \mu r \delta}} \quad d > \delta$	[14]	(5) (6)
	$Q = \dfrac{1}{\operatorname{ch} kd + \dfrac{1}{2} K \operatorname{sh} kd}$		[14]	(7)
	$Q = \dfrac{1}{\operatorname{ch} kd + \dfrac{1}{3}\left(K + \dfrac{2}{K}\right) \operatorname{sh} kd}$		[14]	(8)
	$(Q) = 3 \sqrt{2}\, \mu r \dfrac{\delta}{r_0} e - \dfrac{d}{\delta}$	$a = \dfrac{d}{\delta} + \ln \dfrac{r_0}{3 \sqrt{2}\, \mu r \delta} \quad d > \delta$	[15]	(9)
	$(Q)_{min} = \dfrac{\left(\dfrac{\pi n}{6}\right)^2 - \ln 2 \operatorname{sh} \dfrac{\pi r_i}{b}}{2\pi \dfrac{r_0}{b} - \ln 2 \operatorname{sh} \dfrac{\pi r_i}{b} - \left(\dfrac{\pi r_i}{b}\right)^2}$	$a_{max} = \ln \left\lvert \dfrac{2\pi \dfrac{r_0}{b} - \ln 2 \operatorname{sh} \dfrac{\pi r_i}{b} - \left(\dfrac{\pi r_i}{b}\right)^2}{\left(\dfrac{\pi r_i}{b}\right)^2 - \ln 2 \operatorname{sh} \dfrac{\pi r_i}{b}} \right\rvert$	[14]	(10)
		$a_{max} \approx \ln \dfrac{2 r_0}{b} \cdot \dfrac{\pi}{\ln \left(\dfrac{b}{2 \pi r_i} + 0{,}683\right)}$	[16]	(11)
Notaţii utilizate	d — grosimea peretelui ecranului b — distanţa între două fire alăturate $2r_0$ — diametrul sau distanţa între plăci $2r_i$ — diametrul firului	$k = \dfrac{1}{\mu r} k r_0 \; ; \; k = \dfrac{1 + j}{\delta} - \sqrt{j \omega \sigma \mu}$ $\delta = \sqrt{\dfrac{2}{\omega \sigma \mu}}$ adîncimea de pătrundere a c.e.m.		

Sfera, îndeplineşte cel mai bine condiţiile unei ecranări practice, fiindcă nu este necesară ipoteza simplificatoare, potrivit căreia cîmpul exterior este peste tot paralel cu suprafaţa.

Se observă că, factorii de ecranare în cele trei probleme idealizate, pentru aceeaşi grosime a pereţilor d şi pentru o distanţă între plăci, egală cu diametrul sferei sau al cilindrului, se găsesc în relaţia:

$$Q_{sfera} > Q_{cilindru} > Q_{placă} \qquad (12)$$

Cu toate că se poate lucra acoperitor în toate cazurile, considerînd relaţiile valabile pentru sfera goală, în practică, vom folosi în mod deliberat relaţia pentru cazul a două plăci paralele infinite, fiindcă acest caz se poate trata teoretic, în cazul cînd ecranul este realizat din plasă de sîrmă, sau tablă expandată.

Pentru cazul a două plăci paralele infinite, în tabela 2 se dau relaţiile aproximative (5) şi (6) pentru calculul atenuării: una valabilă la frecvenţe joase ($d < \delta$) şi alta valabilă la frecvenţe înalte ($d > \delta$). Din aceste relaţii se poate determina grosimea ecranului (d) pentru o atenuare şi o distanţă între plăcile date:

$$d \approx \begin{cases} \dfrac{\delta^2}{2 \mu_r r_0} \sqrt{e^{2a} - 1} & \text{pt. } d < \delta \\ \delta \left(a - \ln \dfrac{r_0}{\sqrt{2 \mu_r \delta}}\right) & \text{pt. } d > \delta \end{cases} \qquad (13)$$

La utilizarea acestor relaţii apare evidentă întrebarea: care din ele trebuie utilizată pentru

o frecvență dată? Problema se rezolvă folosind ambele relații și eliminînd-o pe aceea care nu respectă inegalitatea de definiție. Din analiza relațiilor pentru cele trei probleme idealizate rezultă două observații importante și anume:

— pentru aceeași grosime a ecranului d, atenuarea este cu atît mai mare, cu cît dimensiunile încăperii ecranate sînt mai mari (r_0);

— atenuarea crește cu frecvența.

A doua observație nu se poate realiza practic; în majoritatea cazurilor datorită imperfecțiunii altor elemente constitutive ale ecranării (uși, ferestre, deschideri de ventilație, etc.).

Considerente economice fac ca ecranarea marilor laboratoare să se facă din plasă de sîrmă sau în ultimul timp din tablă expandată. În acest caz, pentru calculul atenuării se pleacă de la ideea că, cele două plăci paralele infinite se pot, la rîndul lor, înlocui prin două rețele de conductoare paralele, de rază r_i la distanța b (tabela 2).

Spre deosebire de ecranarea din tablă, unde $Q = 0$, pentru frecvențele înalte la care $\delta \to 0$, în cazul de față Q are o limită Q_{min} diferită de zero, dată prin relația (10) în tabela 2. Altfel spus, în acest caz atenuarea tinde asimptotic, cu creșterea frecvenței, către o valoare limită a_{max}. Deutsch și Zinke [16] dau o formulă mai simplă pentru valoarea limită a atenuării, introdusă de un asemenea ecran la frecvențe înalte și anume relația (11) din tabela 2. Ambele formule dau atenuarea față de cîmpul magnetic și în cazul utilizării împletiturii de sîrmă, prin b înțelegîndu-se mărimea ochiului împletiturii.

În cazul cîmpului electric (perpendicular pe suprafața împletiturii), ambele rețele ale împletiturii contribuie cu un factor de ecranare egal adică:

$$Q^E_{\min} = 2\,Q^H_{\min} \quad \text{sau} \quad a^E_{\max} = a^H_{\max} + 6\text{d}B \qquad (14)$$

În [17] se indică o metodă generală pentru determinarea eficienței ecranării față de cîmpurile electrice în regim cvasistaționar care constă în esență în următoarele:

— cîmpul electric din jurul laboratorului și pereții ecranați ai laboratorului sînt reprezentanți printr-o rețea echivalentă de impedanțe;

— distribuția de potențiale la diferite frecvențe este calculată cu un calculator cifric folosind metodele clasice de calcul ale circuitelor;

— efectul de ecranare este determinat de diferența de potențial dintre interiorul și exteriorul spațiului de ecranat.

Metoda are avantajul că permite să se determine variația eficienței ecranării în interiorul laboratorului și că poate ține seama de deschiderile existente în ecran.

Totuși aplicarea metodei este eficientă abia după ce s-a acumulat o experiență practică în realizarea ecranelor astfel încît soluția propusă să nu rămînă decît să fie verificată prin metoda de mai sus.

2.2. Calculul atenuării în regim variabil

Pentru dimensiunile actuale ale laboratoarelor de înaltă tensiune date în tabela 1 se observă că începînd de la frecvențe de 5—6MHz nu mai este îndeplinită condiția de regim cvasistaționar ($\lambda > l$). Pentru a studia atenuarea introdusă de ecran în acest regim se consideră cazul cînd o undă electromagnetică plană întîlnește o sferă metalică goală care, după cum s-a arătat, aproximează cel mai bine ecranele uzuale.

Kaden [14] calculează atenuarea ecranului determinînd cîmpul în centrul sferei, ajungînd la concluzia că în acest regim la atenuarea cvasistaționară „a" trebuie adăugat încă un termen a cărui expresie este funcție de λ, lungimea de undă a radiației incidente.

$$a^H = a + \Delta a^H \quad \text{pentru cîmpul magnetic} \qquad (15)$$

$$a^E = a + \Delta a^E \quad \text{pentru cîmpul electric} \qquad (15')$$

Termenii adiționali Δa^E și Δa^H sînt funcții de raportul r_0/λ, sînt negativi iar pentru $r_0/\lambda =$ $= 0{,}437$; $0{,}974$; $1{,}483$ etc., $\Delta a^E = -\infty$ respectiv pentru $r_0/\lambda = 0{,}715$; $1{,}227$ etc., $\Delta a^H = -\infty$.

Acestea sînt de fapt frecvențele de rezonanță ale sferei goale la care aceasta își pierde proprietatea de atenuator, devenind oscilator.

Practic acest lucru nu se întîmplă din cauza pierderilor inerente, însă la frecvențele respective, atenuarea este neglijabilă.

În cazul laboratorului de la Craiova, luînd în mod acoperitor dimensiunea lineară cea mai mare, adică $X_0/2 = r_0 = 24$ m, rezultă că prima rezonanță pentru cîmpul electric are loc la o frecvență de circa 5,4 MHz (valoare apropiată de frecvența de rezonanță pentru oscilația E_{110} determinată anterior) iar prima rezonanță pentru cîmpul magnetic la circa 8,9 MHz.

Ambele frecvențe ies în afara domeniului de interes pentru măsurătorile care se fac în laborator și deci calculul atenuării introduse de ecran se poate face cu relațiile valabile în regim cvasistaționar.

2.3. Asigurarea ecranării la întreruperi în ecranul omogen.

Atenuarea posibilă de obținut este determinată de deschiderile practicate în ecranul omogen în scopuri tehnologice.

Ferestrele sau deschiderile de ventilație se ecranează cu tablă expandată iar în cazurile cînd atenuarea rezultată este insuficientă (de obicei ecranul de tablă expandată se pozează pe un perete de beton armat care introduce o

atenuare suplimentară de circa 10 — 20 dB [18], se folosesc „faguri" realizați prin sudarea alăturată a unor tuburi metalice de secțiune circulară, dreptunghiulară sau hexagonală și lungime l [19].

Efectul de atenuare introdus de fiecare element al fagurelui se datorează comportării sale ca un ghid de undă care la frecvențe mult mai mici decît frecvența critică lucrează ca atenuator.

Atenuarea se poate calcula în acest caz cu relația [19]:

$$a = (54{,}4\ l/\lambda_{cr})\sqrt{1-(\lambda_{cr}/\lambda)^2},\ \text{dB} \qquad (16)$$

unde $\lambda_{cr} = 1{,}7\ D$ în cazul elementelor cilindrice cu diametrul D sau $\lambda_{cr} = 2\ b$ în cazul secțiunii dreptunghiulare (b-latura mare).

Problema cea mai complicată apare la închiderea ecranării în dreptul elementelor mobile cum sînt porțile și ușile. Acestea reprezintă

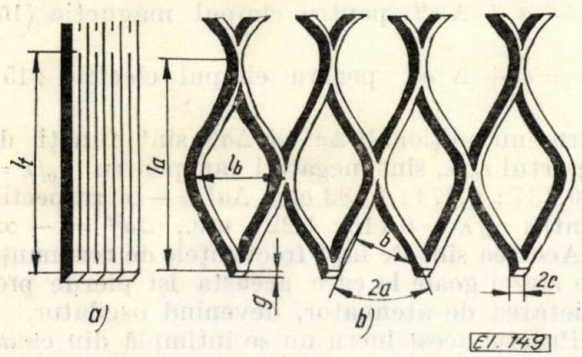


Fig. 2. Obținerea tablei expandate:
a — dimensiuni caracteristice (vezi tabela 3); *b* — schema de tăiere.

de obicei elementele cele mai slabe ale unei ecranări electromagnetice. Rosturile care apar conduc pe de o parte la pătrunderea directă în interior a cîmpului electromagnetic iar pe de altă parte dispare cîmpul de reacție fiindcă circuitul curenților turbionari induși în ecran este întrerupt. Soluția constă în asigurarea unor contacte multiple uniform repartizate pe întreg perimetrul elementelor mobile.

Contactul multiplu este un contact specific pentru înaltă frecvență. Forma sa cea mai simplă este dublul contact reprezentat în figura 2 a [20].

Orice element de contact fix sau mobil poate fi reprezentat ca echivalent cu un circuit $R-L$ serie și în consecință la înaltă frecvență $\omega L \gg R$. Această situație a condus la ideea introducerii în rostul ușilor a mai multor contacte în serie formînd împreună cu inductanța intervalului care le separă un filtru cu comportare trece-jos (fig. 2b).

În acest fel căderea de tensiune pe elementul de contact interior este mult mai redusă decît pe elementul exterior inductanței L_i.

Realizarea practică a ecranării electromagnetice a laboratorului de înaltă tensiune de la Craiova

3.1. Scurtă descriere a laboratorului

Laboratorul de înaltă tensiune de la Craiova constă dintr-o hală principală în care au fost realizate două hale de încercări independente și anume: hala de încercări cu tensiune indusă, cu dimensiunile $36 \times 23 \times 27$ m și hala de înaltă tensiune cu dimensiunile $48 \times 32 \times 27$ m.

Numai hala de înaltă tensiune este ecranată electromagnetic. Ea conține echipamentul de bază și anume: generatorul de impuls de 2,4MV 192 kWs, o cascadă formată din două transformatoare pentru 1,2 MV 1500 kVA 50 Hz și un redresor în cascadă pentru 1 MV 30 mA. Toate instalațiile sînt în execuție mobilă.

Hala de înaltă tensiune posedă 3 porți de tip ghilotină cu 2 foi. Două dintre acestea au înălțimea de 15 m și lățimea de 9 m; sînt astfel alese încît să permită deplasarea instalației de impuls și de curent alternativ în cîmpul de încercări în aer liber. A treia poartă face legătura cu hala de tensiune indusă și are înălțimea de 16 m și lățimea de 12 m. În afara acestor trei porți există 2 uși metalice de dimensiuni obișnuite pentru deservire.

3.2. Alegerea materialului pentru confecționarea ecranului

La baza acestei alegeri au stat următoarele criterii: economia de metal și mai ales de metal deficitar; manoperă redusă; sudabilitate ridicată; creerea unui aspect estetic fără cheltuieli suplimentare; existența unor porți de dimensiuni mari care limitează atît atenuarea maximă posibil de obținut cît și domeniul de frecvență în care aceasta are loc; atenuarea impusă de 60 dB în domeniul de frecvențe pînă la 1 MHz; dimensiunile mari ale încăperii ecranate.

În aceste condițiuni alegerea a căzut de la început asupra tablei de oțel expandate, un material care se produce curent în țară. Ea se obține din tablă obișnuită prin tăiere a segmentelor de lungime l_t și formarea prin împingere (expandare) a unor ochiuri cu dimensiunile $l_a \times l_b$ după cum rezultă din figura 3 (se folosește un cuțit special). Tabla expandată care s-a putut folosi a avut grosimea de 1 mm respectiv 2 mm și celelalte dimensiuni caracteristice conform tabelei 3. Economia de metal rezultă din calculul factorului de expandare care reprezintă raportul dintre aria ocupată de elementul expandat și aria elementului inițial:

$$e = \frac{l_a \cdot l_b}{2\ cl_t} \approx \frac{l}{2c}. \qquad (17)$$

Deci dintr-o foaie de tablă 1000 × 2000 mm se obține la expandarea longitudinală o foaie de

1000 × 5300 mm la grosimea de 2 mm respectiv 1000 × 4000 mm la grosimea de 1 mm, ceea ce pentru suprafaţa desfăşurată de cca 7500m² a laboratorului duce la o economie de aproximativ 40 t tablă.

Pentru calculul atenuării ecranului confecţionat din tablă expandată aceasta trebuie echivalată cu o plasă de sîrmă cu dimensiunea

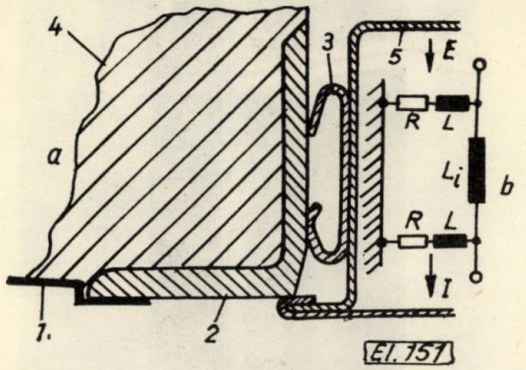


Fig. 3. Principiul de realizare al închiderii ecranului în dreptul elementelor mobile prin contact dublu [20]:
a – realizarea constructivă; *b* – schema echivalentă; 1 – ecran; 2 – rama uşii; 3 – contact dublu; 4 – zidărie; 5 – uşa metalică

Tabela 3

Dimensiuni caracteristice pentru tabla expandată utilizată la Electroputere

Grosimea tablei g, mm	1,0	2,0
Lungimea ochiului l_a mm	16	63
Lăţimea ochiului l_b mm	6,3	20
Pasul de tăiere 2c, mm	3,2	7,0
Factor de expandare *e*	1,97	2,66
Raza firului echiv. r_i mm	0,715	1,49
Lăţimea ochiului echivalent *b* mm	5,75	19,1

ochiurilor *b* şi raza firelor r_i şi apoi folosite relaţiile (10) sau (11) din tabela 2. Această echivalare se face pe baza relaţiilor evidente (fig.3b):

$$\pi r_i^2 = cg \quad \text{adică} \quad r_i = \sqrt{\frac{cg}{\pi}} \tag{18}$$

$$b = \sqrt{\left(\frac{l_a}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_b}{2}\right)^2} \sin 2\alpha \text{ sau } b = \frac{l_a\, l_b}{\sqrt{l_a^2 + l_b^2}} \tag{19}$$

iar rezultatele sînt trecute în tabela 3.

Conform relaţiilor (10) respectiv (11) se obţine la folosirea tablei de 1 mm:

$$a_{max} = 10{,}4 \text{ Np sau } 90 \text{ dB}$$

respectiv:

$$a_{max} = 10 \text{ Np sau } 87 \text{ dB}$$

iar la folosirea tablei de 2 mm

$$a_{max} = 8{,}5 \text{ Np sau } 74 \text{ dB}$$

respectiv

$$a_{max} = 8{,}3 \text{ Np sau } 72 \text{ dB}$$

În calcule se introduce $2r_0 = Z_0 = 27$ m, dimensiunea liniară cea mai mică a halei ecranate iar adîncimea de pătrundere a cîmpului electromagnetic la frecvenţa de 1 MHz este $\delta = 9 \cdot 10^{-3}$ mm $\leqslant r_i$. Analizînd rezultatele teoretice de mai sus s-a ajuns la concluzia că numai tabla expandată de 1 mm cu ochiuri de 16 × 6,3 mm poate asigura atenuarea cerută de 60 dB ţinînd seama de imperfecţiunile inerente realizării practice şi a fost utilizată în consecinţă.

Tabla expandată de 2 mm cu ochiuri de 63 × 20 mm s-a folosit ca ecran de pardoseală unde regimul de ecran este mai uşor în schimb se cer căderi de tensiune în regim tranzitoriu mai mici.

În anexă se prezintă cîteva rezultate experimentale obţinute prin modelare privind atenuarea şi variaţia în funcţie de frecvenţă a acesteia pentru tabla expandată de 1 şi 2 mm.

3.3. Linii directoare în realizarea ecranării laboratorului

În fotografia din figura 4 se dă o vedere de ansamblu a interiorului laboratorului în direcţia cîmpului exterior, din care se disting clar cîteva elemente de bază ale soluţiei de ecranare adoptate şi anume:

– ecranarea este realizată aparent în scopul de a se putea verifica în timp starea acesteia; simultan se asigură un aspect estetic corespunzător renunţîndu-se la tencuirea pereţilor;

– se folosesc elemente prefabricate cu dimensiunea 1 000 × 1 750 mm fixate direct pe pereţii laterali şi la o anumită distanţă pe frontoane pentru a permite deplasarea pe verticală a porţilor. Elementele prefabricate sînt

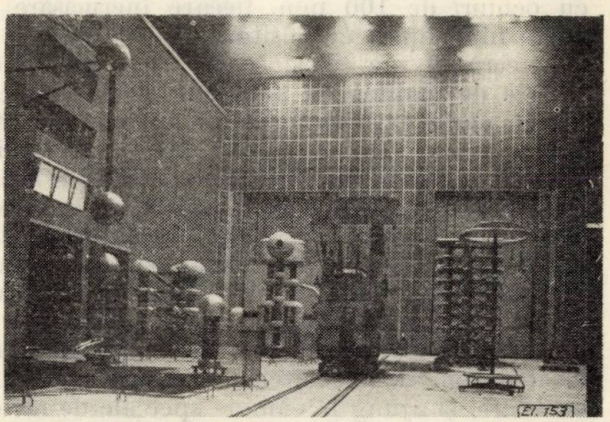


Fig. 4. Vedere de ansamblu a laboratorului de înaltă tensiune ecranat electromagnetic de la Electroputere Craiova.

fixate pe suporţi şi între ele numai prin sudură electrică; distanţa între două puncte de sudură este de cca 50 mm pe întreaga suprafaţă. Acest detaliu este vizibil în fotografia din figura 5. Tot acolo se observă montarea inter-

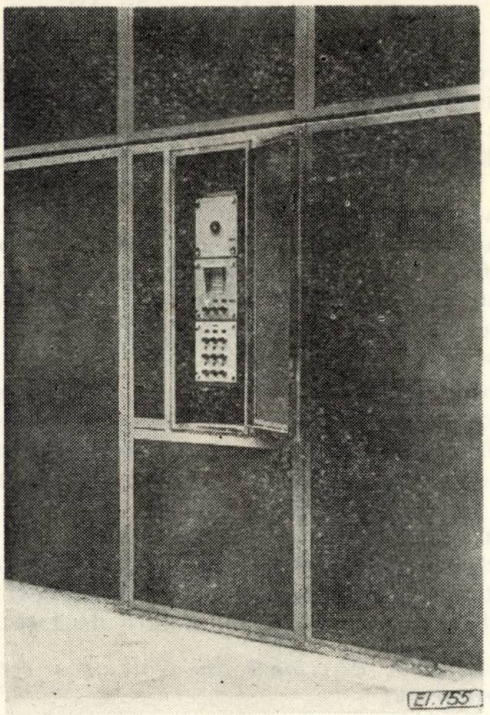


Fig. 5. Detaliu de ecranare. Suduri între panouri. Montarea instalaţiei de interfon.

fonului într-o nişă metalică care se închide în timpul încercărilor;

— instalaţiile de iluminat şi încălzire prin radianţi sînt montate în podul tehnic în afara ecranului;

— camera de comandă şi cele patru camere de observare (vizibile în fig. 4 pe peretele din stînga) sînt de asemenea ecranate electromagnetic însă de această dată sub tencuială. În mod suplimentar ferestrele către hală ale acestora au fost ecranate cu plasă de sîrmă de cupru cu ochiuri de 100 mm, fiecare încrucişare în parte fiind lipită cu cositor.

— ecranul de pardoseală este sudat cu prizele de pămînt de adîncime şi este aplicat direct peste caroiajul din plat-bandă de oţel 100 × 5 mm. De asemenea prin intermediul său, calea ferată de acces a obiectului de încercat şi căile ferate ale instalaţiilor de încercare sînt înglobate în ecran. După executarea tuturor sudurilor s-au făcut decupări în imediata vecinătate a instalaţiilor de încercat prin care s-au trecut circuitele de forţă, comandă şi măsură. Toate aceste circuite sînt executate electromagnetic (circuitele de măsură sînt dublu ecranate) şi ajung la cămine speciale de racord fiind prevăzută posibilitatea ca în caz de neutilizare să fie scurtcircuitate şi puse la pămînt.

Legătura între ecranul de pardoseală şi ecranul pereţilor s-a realizat din tablă plină de 2 mm.

După executarea acestor lucrări s-a turnat stratul de beton de uzură care formează pardoseala propriu-zisă.

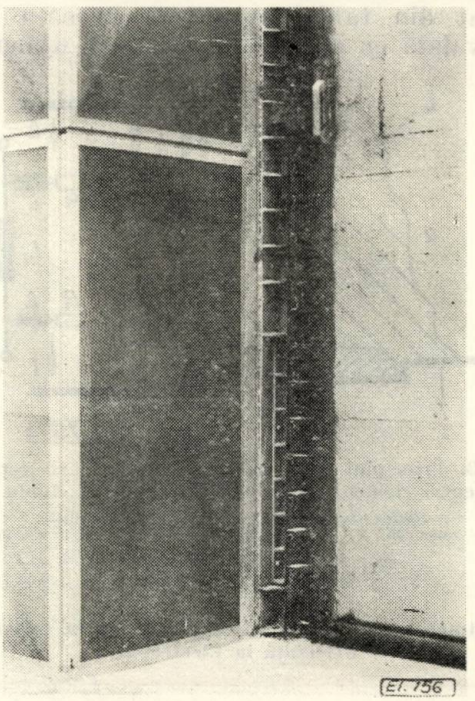


Fig. 6. Detaliu de ecranare. Realizarea contactelor la porţi.

Porţile au fost înzestrate cu contacte duble pe toată înălţimea lor (interval între contacte, 100 mm) şi de ambele părţi. Acest detaliu se poate urmări în figura 6. Contactele şi glisierele montate pe poartă sînt executate din alamă.

Din cele arătate rezultă că realizarea unei hale ecranate electromagnetic este în contradicţie cu metodele grosiere utilizate în mod obişnuit în construcţii. De aceea, pentru reuşita acestei lucrări s-a depus o însemnată muncă de organizare, coordonare şi control a lucrărilor de montaj.

4. Rezultate experimentale

Pentru măsurarea atenuării introduse de ecran s-a folosit un măsurător obişnuit de perturbaţii (R) înzestrat cu antenă cadru pentru determinarea componentei magnetice şi cu o antenă baston sau dipol pentru determinarea componentei electrice a cîmpului electromagnetic.

În principiu sînt posibile două măsurări: măsurarea scăpărilor de energie de înaltă frecvenţă (fig. 7.a); măsurarea pătrunderii de energie de înaltă frecvenţă (fig. 7.b).

Teoretic cele două măsurători trebuie să dea acelaşi rezultat dar a doua este mai comod de

executat deoarece ca surse de perturbaţii (E) servesc posturile de radio sau TV.

Dacă cele două intensităţi de cîmp măsurate în interiorul şi exteriorul laboratorului

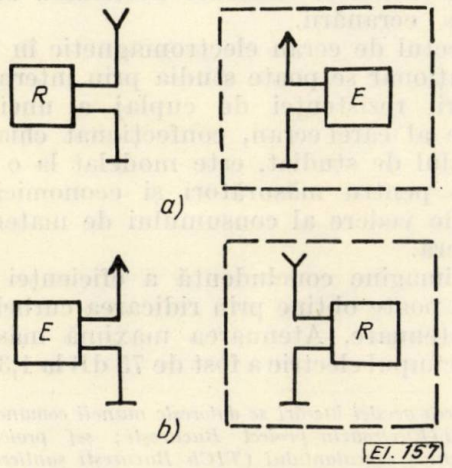


Fig. 7. Posibilităţi de măsurare a efectului de ecranare (E-emiţător; R-receptor):
a — măsurarea scăpărilor de energie de înaltă frecvenţă; *b* — măsurarea pătrunderii de energie de înaltă frecvenţă

sînt exprimate ele însăşi în NP sau dB (prin raportarea la o valoare de referinţă, de ex. $E_0 = 1\mu V/m$), relaţia (4′) se transformă într-o formulă practică pentru determinarea eficienţei ecranării.

$$a^E = E_e - E_i \text{ Np sau dB} \qquad (20)$$

$$a^E = H_e - H_i \text{ Np sau dB} \qquad (20')$$

La realizarea practică a acestor măsurători trebuie să se ia o serie de măsuri pentru a se asigura precizia şi reproductibilitatea rezultatelor şi anume:

— se vor folosi legături la pămînt ale măsurătorului de perturbaţii cît mai scurte şi eventual realizate din folie de cupru pentru a evita efectul de antenă suplimentară dat de această legătură la pămînt;

— se va urmări efectul directiv al antenei de recepţie şi se va acorda pentru semnalul maxim. Aceasta deoarece intensităţile de cîmp măsurate în interior au direcţii foarte diferite datorită imperfecţiunii ecranului chiar în regim cvasistaţionar;

— se vor prefera măsurătoarele de perturbaţii alimentate de la baterii. În lipsa acestora alimentarea se va face de la reţea printr-un filtru de perturbaţii iar cablul de alimentare însuşi, va fi ecranat;

— toate măsurătorile se vor face la aceeaşi înălţime a antenei faţă de sol atît în interior cît şi în exterior. Această înălţime se recomandă să fie cuprinsă între 2 şi 5 m, aceasta fiind înălţimea la care sînt dispuse de obicei conductele de înaltă tensiune şi al căror efect de antenă receptoare de perturbaţii nu trebuie neglijat;

— cablurile de forţă, comandă şi măsură vor fi puse la pămînt în puncte cît mai apropiate pentru a evita pătrunderea perturbaţiilor prin conducţie;

— toate obiectele metalice ca şi instalaţiile de încercare vor fi puse la pămînt. În general, în apropierea obiectelor metalice de dimensiuni mari nu se vor face măsurători deoarece propagarea cîmpului electromagnetic este afectată de fenomenul de reflexie;

— intensitatea cîmpului în exteriorul laboratorului se măsoară la o distanţă de cca 50m în cel puţin 4 puncte în jurul laboratorului. Valoarea medie a acestor măsurători se consideră a fi E_e sau H_e.

Măsurătorile s-au făcut cu două aparate simultan şi anume:

— aparatul LMZ-2 de fabricaţie poloneză;

— aparatul MP4 de fabricaţie franceză (TELEC).

În figura 8 se dau valorile măsurate ale atenuării cîmpului electric pentru cîteva valori ale frecvenţei. Atenuarea maximă (cca 75 dB) se obţine în jurul frecvenţei de 1,3 MHz într-un punct situat în mijlocul geometric al halei

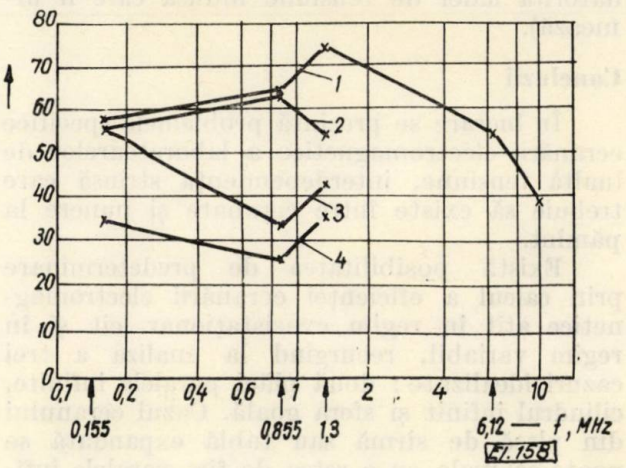


Fig. 8. Atenuarea cîmpului electric măsurată în interiorul laboratorului de înaltă tensiune (valori medii):
1 — în mijlocul geometric al halei; *2* — în axul porţii nr. 1 la o distanţă de 8 m de aceasta; *3* — idem ca la 2 dar cu poarta nr. 1 deschisă; *4* — în axul porţii nr. 1 poarta deschisă la 1 m distanţă de aceasta.

(curba 1) adică acolo unde se amplasează de obicei obiectul de încercat. La frecvenţe mai mari decît 1,3 MHz atenuarea scade după cum era de aşteptat datorită imperfecţiunilor existente (sudura prin puncte a panourilor de ecranare, distanţa mare între contactele folosite la porţi, etc.) dar şi datorită rezonanţelor care apar la frecvenţe peste 5 MHz.

S-a studiat de asemenea influenţa deschiderii unei porţi asupra atenuării măsurate pe axul acesteia la diferite distanţe. Căderile de atenuare sînt de cca 30 — 40 dB.

Pentru caracterizarea cît mai bună a instalaţiei de ecranare electromagnetică s-au ridicat curbe de egală atenuare a cîmpului electric la frecvenţa de 1,3 MHz date în figura 9. Ele

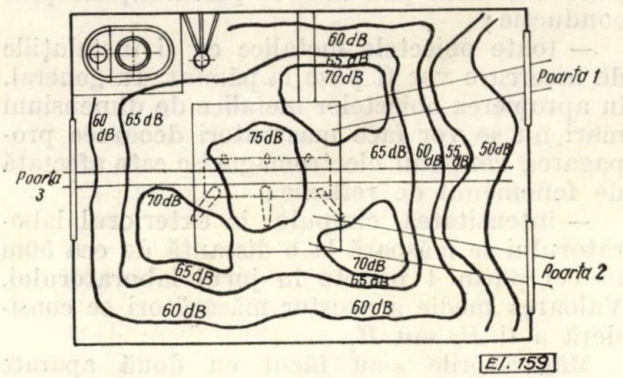


Fig. 9. Curbe de egală atenuare pentru cîmpul electric. Frecvenţa de măsurare 1,3 MHt. Aparat de măsură tip LMZ-2. Înălţimea antenei faţă de sol 2 m.

permit să se evidenţieze faptul că pe cea mai mare parte a suprafeţei halei atenuarea este mai bună decît 60 dB. Regiunea cu atenuarea cea mai redusă este cea din apropierea porţilor nr. 1 şi 2. (Poarta 3 nu afectează atenuarea datorită halei de tensiune indusă care îi urmează).

Concluzii

În lucrare se prezintă problemele specifice ecranării electromagnetice a laboratoarelor de înaltă tensiune, interdependenţa strînsă care trebuie să existe între ecranare şi punere la pămînt.

Există posibilitatea de predeterminare prin calcul a eficienţei ecranării electromagnetice atît în regim cvasistaţionar cît şi în regim variabil, recurgînd la analiza a trei cazuri idealizate: două plăci paralele infinite, cilindrul infinit şi sfera goală. Cazul ecranului din plasă de sîrmă sau tablă expandată se poate echivala cu o reţea de fire paralele infinit de lungi.

Se verifică experimental concluzia rezultată teoretic că pentru dimensiunile uzuale ale laboratoarelor de înaltă tensiune moderne, atenuări mai mari de 60 dB se pot obţine numai pînă la frecvenţe de cca 3 — 4 MHz care corespund regimului cvasistaţionar. La frecvenţe mai mari apar rezonanţe fie pentru componenta electrică fie pentru componenta magnetică care diminuează eficienţa ecranării.

Utilizarea tablei expandate pentru confecţionarea ecranului conduce la economii importante de metal. Acestea se pot pune în evidenţă prin determinarea factorului de expandare care indică sporirea suprafeţei tablei prin expandare (pentru tabla folosită la Electroputere are valoarea 1,97 şi 2,66). Economia de metal rezultată se ridică la cca 40 tone.

Se prezintă soluţii pentru asigurarea ecranării la întreruperi în ecranul omogen în dreptul ferestrelor (elemente „fagure") şi porţilor (contacte multiple). Se atrage atenţia asupra faptului că aceste elemente determină de fapt eficienţa ecranării.

Efectul de ecran electromagnetic în regim cvasistaţionar se poate studia prin intermediul măsurării rezistenţei de cuplaj a unei linii coaxiale al cărei ecran, confecţionat chiar din materialul de studiat, este modelat la o scară comodă pentru măsurători şi economică din punct de vedere al consumului de material şi manoperă.

O imagine concludentă a eficienţei ecranării se poate obţine prin ridicarea curbelor de egală atenuare. Atenuarea maximă măsurată pentru cîmpul electric a fost de 75 dB la 1,3 MHz

Realizarea acestei lucrări se datoreşte muncii comune a proiectantului (Electrouzin proiect Bucureşti; şef proiect ing. P. Rotileanu) executantului (TICh Bucureşti şantierul Craiova; şef şantier ing. N. Dănilă) şi colectivului de muncă al laboratorului care a urmărit şi a soluţionat toate problemele de execuţie. Măsurătorile de perturbaţii au fost făcute de ing. H. Vasile de la Electroputere şi ing. I. Mărgineanu şi ing. M. Niculescu de la ICPE Bucureşti.

Tuturor, autorul le aduce pe această cale mulţumiri.

ANEXĂ

Determinarea prin modelare a atenuării şi variaţiei în funcţie de frecvenţă a acesteia

Datele insuficiente existente în literatură în legătură cu eficienţa ecranării realizate din tablă expandată au făcut necesară cercetarea proprietăţilor acesteia recurgînd la modelare.

S-a considerat că un model la scară al laboratorului devine prea costisitor deoarece pe de o parte trebuie realizat din materiale diferite, iar pe de altă parte trebuie să aibă dimensiuni geometrice suficient de mari pentru a putea permite introducerea măsurătorului de perturbaţii cu antena respectivă.

În aceste condiţii s-a recurs la determinarea „rezistenţei de cuplaj" R_k a unei linii coaxiale în regim cvasistaţionar ($l \ll \lambda/4$) ţinînd seama de legătura care se poate stabili între aceasta şi atenuarea introdusă de ecran, relaţie care se va stabili mai jos. Ecranul coaxial al acestei linii a fost realizat pe rînd din materialele supuse cercetării.

După cum se ştie, dacă mantaua sau ecranul unui cablul coaxial este parcursă de un curent oarecare (fig. 1 A) pe su-

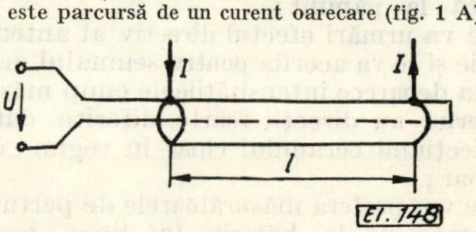


Fig. 1A. Pentru definirea rezistenţei de cuplaj.

prafaţa interioară a ecranului apare o cădere de tensiune care acţionează ca o tensiune perturbatoare asupra conductorului central purtător al semnalului util. Prin definiţie rezistenţa de cuplaj este dată de relaţia :

$$R_k = \frac{U}{I \cdot l} \ [\Omega/\mathrm{m}] \qquad (1A)$$

R_k este în general o mărime complexă. În curent continuu sau la frecvenţe joase este egală cu rezistenţa ohmică a ecra-

nului exterior însă o dată cu creşterea frecvenţei, la apariţia efectului pelicular, curentul I se concentrează la suprafaţa ecranului iar căderea de tensiune U pe suprafaţa interioară a acestuia scade mult astfel că R_k scade corespunzător. Această variaţie cu frecvenţa valabilă în cazul ecranului masiv, este valabilă şi în cazul ecranului perforat dar numai pînă la o anumită frecvenţă după care R_k începe să crească din nou datorită pătrunderii cîmpului magnetic exterior (fig. 2A).

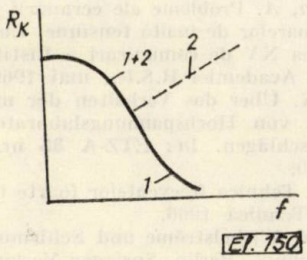


Fig. 2A. Variaţia rezistenţei de cuplaj cu frecvenţa: *1* – ecran masiv; *2* – ecran perforat.

Rezistenţa de cuplaj se poate calcula numai în cîteva cazuri simple. Pentru ecranul tubular masiv Kaden [14] dă relaţia:

$$\frac{R_k}{R_0} = \frac{\underline{k}\, d}{\operatorname{sh} \underline{k}\, d}. \qquad (2A)$$

Cu aceleaşi notaţii ca şi cele folosite în text unde $R_0 = 1/2\,\pi r_0 \sigma d$ este rezistenţa în curent continuu pe metru liniar.

În cazul ecranului cilindric din tabela 2 rezultă factorul de ecranare corespunzător pentru $\mu_r = 1$

$$Q = \frac{1}{\operatorname{ch} \underline{k}d + \dfrac{1}{2}\, \underline{k} r_0 \operatorname{sh} \underline{k} d} \approx \frac{2}{k r_0 \operatorname{sh} kd}, \qquad (3A)$$

Introducînd relaţia (2A) în (3A) se obţine:

$$Q = \frac{2}{\underline{k} r_0 \dfrac{R_0}{\underline{R}_k} \underline{k} d} = \frac{2\,\underline{R}_k}{\underline{k}^2 r_0 d \dfrac{1}{2\pi r_0 \sigma d}} = \frac{4\pi}{j\omega\mu_0}\, \underline{R}_k \qquad (4A)$$

sau

$$a = \ln \frac{1}{|Q|} \approx \ln \frac{\omega \mu_0}{4\pi R_k}. \qquad (5A)$$

Rezultă că se poate determina eficienţa ecranării electromagnetice dacă se cunoaşte variaţia rezistenţei de cuplaj R_k în funcţie de frecvenţă pentru materialul respectiv.

Caracteristica $R_k = f(f)$ se poate ridica experimental cu ajutorul unui model care se execută chiar din materialul cercetat (de ex. aceeaşi grosime şi aceleaşi dimensiuni ale ochiurilor în cazul plasei sau tablei expandate) însă raza se reduce la dimensiuni de ordinul a cîtorva zeci de mm.

Fie raza modelului r_{0m} şi rezistenţa de cuplaj corespunzătoare R_{km}. Pe baza relaţiei (2 A) rezultă la o frecvenţă dată că:

$$\frac{R_k}{R_{km}} = \frac{r_{0m}}{r_0} = \frac{1}{M}. \qquad (6A)$$

Deci pentru a afla rezistenţa de cuplaj a originalului care determină de fapt eficienţa ecranării (5A) se amplifică rezistenţa de cuplaj a modelului cu $1/M$ unde $M = r_0/r_{0m}$ este raportul dimensiunilor geometrice ale originalului şi modelului.

În practică mai mult decît valoarea absolută a atenuării introduse de ecran, interesează variaţia acesteia cu frecvenţa.

Schema din figura 3A permite ridicarea experimentală a caracteristicii $R_{km} = f(f)$. Generatorul de înaltă frecvenţă cu tensiunea U_0 produce curentul I. Acest curent este determinat cu ajutorul şuntului R. Atenuatorul A a cărui rezis-

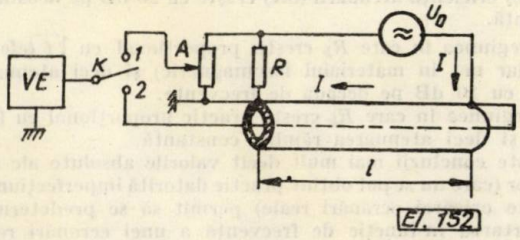


Fig. 3A. Schema pentru măsurarea rezistenţei de cuplaj. Explicaţii în text.

enţă internă este mult mai mare decît R dă posibilitatea ca tensiunile măsurate de voltmetrul electronic VE pe poziţiile *t* şi *2* ale comutatorului să fie făcute egale. În acel moment:

$$IRK_A = I\,|R_{km}|\,l$$

deci

$$|R_{km}| = \frac{R}{l} K_A \qquad (7A)$$

unde K_A este raportul de divizare al atenuatorului.

În figura A4 se dau rezultatele măsurătorilor efectuate la tabla expandată de oţel utilizată la Electroputere (curbele *6* şi *7*) în comparaţie cu rezultatele date în [18] pentru alte materiale (ecran cilindric cu $r_0 = 40$ mm).

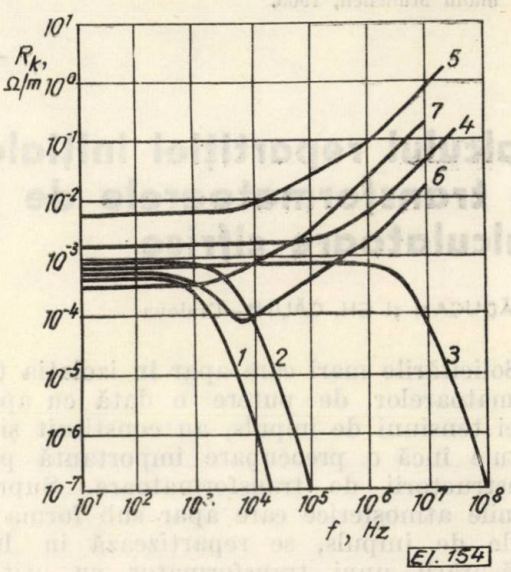


Fig. A4. Caracteristici de frecvenţă ale rezistenţelor de cuplaj la diferite materiale (ecran cilindric cu $2r_0 = 80$ mm): *1* – tablă de oţel 1,0 mm gros; *2* – tablă de oţel 0,5 mm gros; *3* – tablă de cupru 0,1 mm gros; *4* – plasă de cupru cu ochiuri 1×1 mm; sîrmă cu 0,25 mm diametru; *5* – plasă de oţel cu ochiuri 12,5×12,5 mm; sîrmă cu 1,05 diametru. (Rezultate date în [8]); *6* – tablă de oţel 1,0 mm gros. expandată cu ochiuri de 6,3 ×16 mm; *7* – tablă de oţel 2,0 mm gros. expandată cu ochiuri 20 × 63 mm.

Se constată că pînă la frecvenţa de cca 1 MHz tabla expandată de 1 mm se comportă practic mai bine (curba *6*) decît tabla de Cu de 0,1 mm (curba *3*). În jurul frecvenţei de 1MHz datorită faptului că R_k începe să crească proporţional cu frecvenţa, atenuarea atinge valoarea sa maximă rămînînd în continuare constantă.

În cazul tablei expandate de 2 mm (curba 7) valoarea maximă a atenuării se obţine începînd de la circa 100 kHz.

Din alura curbelor prezentate se poate trage concluzia că în regim cvasistaţionar există trei regiuni caracteristice:

— regiunea în care R_k rămîne practic constant (frecvenţe joase) şi eficienţa atenuării (5A) creşte cu 20 dB pe decada de frecvenţă.

— regiunea în care R_k creşte proporţional cu $\sqrt{f}$ (efectul pelicular net în materialul feromagnetic) şi deci atenuarea creşte cu 10 dB pe decada de frecvenţe.

— regiunea în care R_k creşte practic proporţional cu frecvenţa şi deci atenuarea rămîne constantă.

Aceste concluzii mai mult decît valorile absolute ale atenuărilor (care nu se pot obţine practic datorită imperfecţiunilor inerente oricărei ecranări reale) permit să se predetermine comportarea în funcţie de frecvenţă a unei ecranări reale.

Bibliografie

[1] CEI 270/1968: Partial discharge measurement.

[2] *Gailhofer, K.* şi *Heyne, V.* Die elektromagnetische Abschirmung des neuen Hochspannungsprüffeldes In: BBC Nachrichten **51** nr. 10 (1969) p. 576—581.

[3] *Gsodam, H.* Das neue Hochspannungslaboratorium und Transformatorenprüffeld der Elin-Union im Werk Weiz ÖZE **19** (1966) nr. 5 p. 230 — 237.

[4] *Myklebust, R.* şi *Wennerlund E.* Le Laboratoire haute tension de Ludvika. In: ASEA Revue **43** nr. 1, (1971), p. 11 — 14.

[5] *Leroy G., Bouillard J. G., Gallet G.* şi *Simon M.* Essais diélectriques et très hautes tensions. Le Laboratoire à Très Haute Tension des Renardières. În: RGE **80** nr. 10, (1971), p. 768 — 777.

[6] *Raupach, F.* MWB-Hochspannungs-Laboratorium. Prospect al firmei MWB.

[7] *Prinz, H.* Feuer, Blitz und Funke. Verlag F. Bruckmann München, 1965.

[8] *Marinescu A.* şi *Popescu S.* Instalaţia de pămîntare a laboratorului de înaltă tensiune al UEPC. În: Electronica **20** nr. 1, 1972, p. 9 — 15.

[9] *Möller K.* Spannungsabfälle in den Wänden metallisch abgeschirmter Hochspannungs-Laboratorien. In: ETZ-A **86** nr. 13, (1965), p. 421 — 426.

[10] *Hyltén-Cavallius N., Giao, T.N.* Floor Net Used as Ground Return in High-Voltage Test Areas. In: IEEE Trans, Vol. PAS—**88**, nr. 7 1969, p. 996 — 1004.

[11] *Marinescu, A.* Probleme ale ecranării electromagnetice a laboratoarelor de înaltă tensiune. Lucrare prezentată la sesiunea XV de comunicări a Institutului de Energetică al Academiei R.S.R., mai 1969.

[12] *Möller, K.* Über das Verhalten der metallischen Abschirmung von Hochspannungslaboratorien bien Funkendurchschlägen. In: ETZ-A **85** nr. 12, (1964), p. 375 — 380.

[13] *Rulea, G.* Tehnica frecvenţelor foarte înalte. Bucureşti, Editura Tehnică 1966.

[14] *Kaden, H.* Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik. Berlin, Springer Verlag, 1959.

[15] *Kupfmüller, K.* Einführung in die theoretische Elektrotechnik-Berlin, Springer Verlag, 1959.

[16] *Deutsch J.* şi *Zinke, O.* Abschirmung von Messräumen und Messgeräten gegen elektromagnetische Felder In: Frequenz nr. **7**, p. 94 — 101.

[17] *Karady G.* şi *Hyltén-Cavallius, N.* Calculation of the effectiveness of Shielding against quasistatic electric field. In: ISH München 1972, grupa A, pag. 30 — 35.

[18] *Schulz, E.* Der Reduktionsfaktor von Schirmen. In: Frequenz **21**, nr. 9, (1967), p. 292 — 300.

[12] *Helmholtz, E. W.* Abschirmen hochfrequenter elektromagnetischer Felder. In: Messtechnik, nr. 5, 1970, p. VII—VIII.

[20] *Bier, M.*: Elektromagnetische Schirmung von Räumen als Mittel der Funkentstörung. In: ETZ —A **77** nr. 11, (1956), p. 321 — 325.

Intrat în redacţie la 18. XII. 1972

Calculul repartiţiei iniţiale a tensiunii de impuls în transformatoarele de putere, utilizînd calculatoare cifrice

I. RĂDUCAN şi GH. CĂLIN*—Craiova

CZ 621.314.2.015.33 :681.32

Solicitările mari care apar în izolaţia transformatoarelor de putere o dată cu apariţia unei tensiuni de impuls, au constituit şi constituie încă o preocupare importantă pentru constructorii de transformatoare. Supratensiunile atmosferice care apar sub forma unor unde de impuls, se repartizează în lungul înfăşurării unui transformator cu atît mai neuniform cu cît frontul undei este mai abrupt şi cu cît înfăşurarea transformatorului prezintă capacitatea mai mare către masă, în comparaţie cu capacitatea serie (longitudinală).

În perioada iniţială a desfăşurării procesului tranzitoriu, unda aplicată, considerată ca undă dreptunghiulară, nu poate să determine instantaneu nici un curent în reţeaua inductivă, ci se va încărca numai reţeaua capacitivă, stabilindu-se astfel o distribuţie a tensiunii, care este determinată exclusiv de capacităţi şi denumită distribuţie iniţială sau capacitivă.

Aceasta este prima din cadrul celor trei perioade intitulate iniţială, intermediară şi finală şi analizate pe larg într-o altă lucrare în care s-a arătat că perioada iniţială este determinantă pentru neuniformitatea repartiţiei impulsului de tensiune. Avînd în vedere că unii cercetători consideră că în prima aproximaţie este suficientă determinarea distribuţiei iniţiale a tensiunii de impuls deoarece repartiţia maximelor tensiunilor faţă de masă se obţine prin adăugarea la repartiţia finală (în general cunoscută) a diferenţelor, în fiecare punct, dintre aceasta şi repartiţia iniţială actuală, ne vom rezuma în cele ce urmează la acest caz urmînd ca ulterior să tratăm şi cazul cel mai complex dar mai apropiat de realitate,

* Ing. *I. Răducan* este cercetător ştiinţific principal şi ing. *Gh. Călin* este cercetător la C.C.P. — G.U.A.M.E. Craiova.

prin care se calculează înfășurătoarea maximelor tensiunilor față de masă.

În conformitate cu primele metode de calcul al repartiției inițiale a tensiunii de impuls se consideră că înfășurarea transformatorului este omogenă și cu variația uniformă a parametrilor. În aceste condiții, funcție de faptul că sfîrșitul înfășurării este sau nu conectat la pămînt, se ajunge la următoarele relații de calcul:

$$U_x = \frac{\operatorname{ch} \alpha x}{\operatorname{ch} \alpha} \times U$$ — pentru înfășurarea cu neutrul izolat; (1)

$$U_x = \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\operatorname{sh} \alpha} \times U$$ — pentru înfășurare cu neutrul pămîntat (2)

unde:

U_x este potențialul față de pămînt al punctului x;

x — distanța în lungul bobinei, în fracțiuni din înălțimea acesteia;

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_G}{K}}$$

C_G — capacitatea înfășurării față de masă;

K — capacitatea serie (longitudinală) a înfășurării;

U — tensiunea aplicată între borna de intrare și masă.

Este ușor de observat că în cadrul acestor ipoteze, se obțin erori pentru cazul real în care înfășurările sînt neomogene și parametrii acestora au valori discrete (fără variație continuă). Metoda de calcul care se expune în continuare, elimină aceste neajunsuri.

Schema echivalentă

În majoritatea publicațiilor referitoare la repartiția tensiunii de impuls în transformatoare de putere, se utilizează scheme echivalente idealizate în care înfășurările vecine celei studiate se consideră ecrane conectate la masă. În figura 1 se arată o schemă echivalentă capacitivă mult mai apropiată de cazul real, prin faptul că se introduc toate capacitățile înfășurărilor vecine, inclusiv ale înfășurărilor de reglaj. Metoda de calcul adoptată pe această bază va putea fi aplicată oricărui tip de transformator sau autotransformator cu sau fără reglaj sub sarcină, cu înfășurări de reglaj grosier și fin sau cu înfășurare de reglaj serie-opoziție etc. De asemenea, numărul de elemente de calcul în care se împart înfășurările poate fi oricît de mare, limita acestui număr fiind determinată de capacitatea memoriei calculatorului electronic. Ideea utilizării unei astfel de scheme este cuprinsă în [1], modificată și adaptată tipurilor de înfășurări ale transformatoarelor fabricate în R.S.R.

În figura 1a s-a reprezentat schematic așezarea în fereastră a înfășurărilor unui transformator cu reglaj la exterior, de tip serie opoziție, iar în figura 1b, schema echivalentă capacitivă corespunzătoare.

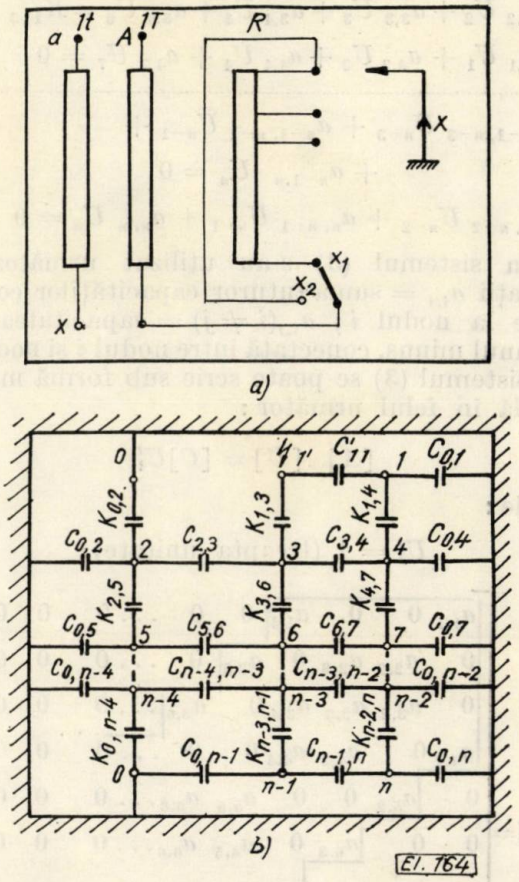


Fig. 1. Schema echivalentă capacitivă a unui transformator cu reglaj sub sarcină de tip serie-opoziție:
a — așezarea înfășurărilor în fereastră; *b* — schema capacitivă propriu-zisă

Notațiile utilizate în această schemă sînt următoarele:

$C_{0,1}$; $C_{0,2}$; $C_{0,4} \ldots C_{0,n}$ = capacități față de masă;

$C_{1,1}$; $C_{2,3}$; $\ldots C_{i,j} \ldots C_{n-1,n}$ = capacități între înfășurări;

$K_{0,2}$; $K_{1,3} \ldots K_{i,j} \ldots K_{n-2,n}$ = capacități serie.

Sistemul de ecuații

Acest sistem se deduce aplicînd metoda diferențelor finite spațiului din fereastra transformatorului. Se consideră necunoscute potențialele tuturor nodurilor rețelei rezultate, cu excepția celor marginale, ca de exemplu: $U'_1 = 1$ (treapta unitate), $U_0 = 0$ (punctele conectate la masă).

Este, deci, necesar a fi date potențialele marginale din domeniul mărginit de fereastra transformatorului și cuvă.

Se ajunge, în final, la următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} a_{1,1}U_1 + a_{1,4}U_4 = C_{1',1} \\ a_{2,2}U_2 + a_{2,3}U_3 + a_{2,5}U_5 = 0 \\ a_{3,2}U_2 + a_{3,3}U_3 + a_{3,4}U_4 + a_{3,6}U_6 = K_{1',3} \\ a_{4,1}U_1 + a_{4,3}U_3 + a_{4,4}U_4 + a_{4,7}U_7 = 0 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ a_{n-1,n-3}U_{n-3} + a_{n-1,n-1}U_{n-1} + \\ \qquad + a_{n-1,n}U_n = 0 \\ a_{n,n-2}U_{n-2} + a_{n,n-1}U_{n-1} + a_{n,n}U_n = 0 \end{cases} \quad (3)$$

În sistemul (3) s-au utilizat următoarele notații $a_{i,i}$ = suma tuturor capacităților conectate la nodul i; $a_{i,j}(i \neq j)$ = capacitatea, cu semnul minus, conectată între nodul i și nodul j.

Sistemul (3) se poate scrie sub formă matriceală în felul următor:

$$[A].\ [U] = [C]U_1'$$

unde:

$$U_1' = 1 \text{ (treapta unitate)}; \quad (4)$$

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{1,1} & 0 & 0 & a_{1,4} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{2,2} & a_{2,3} & 0 & a_{2,5} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{3,2} & a_{3,3} & a_{3,4} & 0 & a_{3,6} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ a_{4,1} & 0 & a_{4,3} & a_{4,4} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{5,2} & 0 & 0 & a_{5,5} & a_{5,6} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{6,3} & 0 & a_{6,5} & a_{6,6} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & a_{n-1,n-1} & a_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n,n-2} & a_{n,n-1} & a_{n,n} \end{bmatrix};$$

$$[U] = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ U_n \end{bmatrix}$$ — matricea coloană a potențialelor necunoscute;

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{1,1}' \\ 0 \\ C_{1,3} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$ — matricea coloană a termenilor liberi.

Datele inițiale ale problemei sînt elementele matricei $[A]$ și ale matricei $[C]$.

Matricea $[A]$ este pătrată simetrică ($a_{i,j} = a_{j,i}$) și are diferite de zero numai un număr restrîns de elemente, de ex. $a_{1,1}$ și $a_{1,4}$ în prima linie $a_{2,2}\,a_{2,3}$; $a_{2,5}$ în linia a doua, etc. Banda din matricea $[A]$ limitată cu linii pline reprezintă acea parte din matrice, ale cărei elemente trebuie introduse ca date inițiale. Restul elementelor matricei fiind egale cu zero nu se introduc pe cartele, ele fiind formate de calculatorul însuși. De asemenea, matricea fiind simetrică, nu este necesar de introdus ca date inițiale decît elementul diagonal și toate elementele diferite de zero din dreapta acestui element, urmînd ca tot calculatorul să le formeze pe cele din stînga diagonalei principale.

Dacă se notează cu n numărul punctelor cu potențiale necunoscute și cu l numărul de elemente care se dau din fiecare linie a matricei $[A]$, inclusiv elementul diagonal, setul de date va începe cu n, l și va continua cu toate elementele care trebuie date din banda matricei $[A]$. Se observă că în interiorul benzii din matricea $[A]$ există și elemente nule, care nu vor fi formate de calculator, ci vor fi cuprinse cu valoarea zero în setul de date inițiale. De asemenea, vor fi introduse toate elementele matricei $[C]$ inclusiv cele egale cu zero.

Pentru rezolvarea sistemului (3) s-a utilizat la început o metodă iterativă, care nu a dat însă rezultate în toate cazurile concrete în care s-a aplicat, datorită neconvergenței sistemului. Programul în ALGOL-60, întocmit pentru această metodă, nu a fost utilizat.

O a doua metodă, pentru care s-au întocmit programe de calcul în limbaj ALGOL-60 și în FORTRAN-IV, este metoda directă, utilizînd algoritmul lui Gauss.

Dacă ecuația matriceală (4) o înmulțim la stînga cu $[A]^{-1}$ — (inversa matricei $[A]$), se obține:

$$[U] = [A]^{-1}[C] \text{ (s-a omis } U_1' \text{ care este egal cu 1).} \quad (5)$$

Cu această relație se calculează necunoscutele cuprinse în matricea $[U]$. Avînd relația (5) se pune nu numai problema rezolvării sistemului de ecuații și exprimării rezultatelor, ci și a unei minuțioase pregătiri a datelor inițiale.

Calculele încep cu determinarea capacităților unei scheme echivalente prestabilită, iar din aceste capacități se determină apoi elementele $a_{i,j}$ ale matricei $[A]$ și elementele $C_{i,j}$ ale matricei [C]. Cu acestea se întocmesc seturile de date inițiale care se perforează pe bandă sau pe cartele.

Sistemul de ecuații a fost rezolvat cu calculatorul electronic Elliott 4100, după un program în ALGOL-60 și cu calculatorul IRIS-50, după un program în limbaj FORTRAN IV. Din motive de spațiu nu se redau aceste programe ci numai o parte din rezultatele obținute.

Rezultate obținute

În cele ce urmează se dau rezultatele obținute pentru calculul repartiției inițiale a tensiunii de impuls în înfășurările a patru transformatoare și anume:

— autotransformatorul *1* cu înalta tensiune de 400 kV;

— transformatorul *2* cu înalta tensiune de 240 kV;

— transformatorul *3* cu înalta tensiune de 242 kV;

— transformatorul *4* cu înalta tensiune de 35 kV.

Pentru transformatoarele *1*, *3* și *4* se dau curbele calculate și curbele obținute experimental pe original iar pentru transformatoarele *2* și *3* se dau curbele distribuției inițiale a tensiunii de impuls, în cazul considerării înfășurării de j.t. ca ecran (tratat de obicei în literatură) și cînd se iau în considerație capacitățile înfășurărilor vecine (schema echivalentă propusă în această lucrare).

În figura 2 se pot analiza curbele distribuției inițiale a tensiunii de impuls în autotransformatorul 1, conectat ca transformator și analizînd numai înfășurarea exterioară. S-a ales acest caz pentru că înfășurarea analizată era singura accesibilă pentru determinări experimentale cu generatorul de impulsuri repetate. Se observă că repartiția inițială calculată, luînd în considerație schema echivalentă completă propusă (curba *4*), este mult mai apropiată de curba experimentală (2) decît repartiția inițială, calculată după schema clasică (curba *3*).

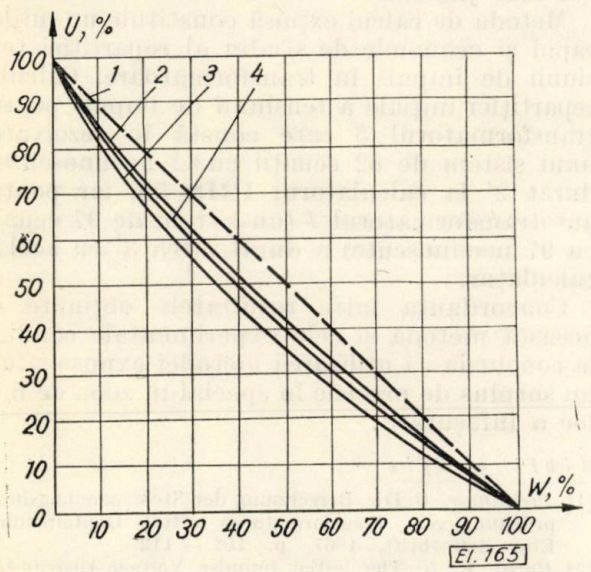


Fig. 2. Repartiția inițială a tensiunii de impuls pe înfășurarea de înaltă tensiune a autotransformatorului 1 de 400 kV, în conexiune ca transformator:

1 — repartiția finală; *2* — repartiția inițială pe original; *3* — repartiția inițială calculată, considerînd înfășurarea de înaltă tensiune ca ecran; *4* — repartiția inițială calculată cu noua schemă echivalentă.

Și din figura 3 unde se dau curbele repartiției inițiale calculată și experimentală pentru același autotransformator, dar în schema auto-

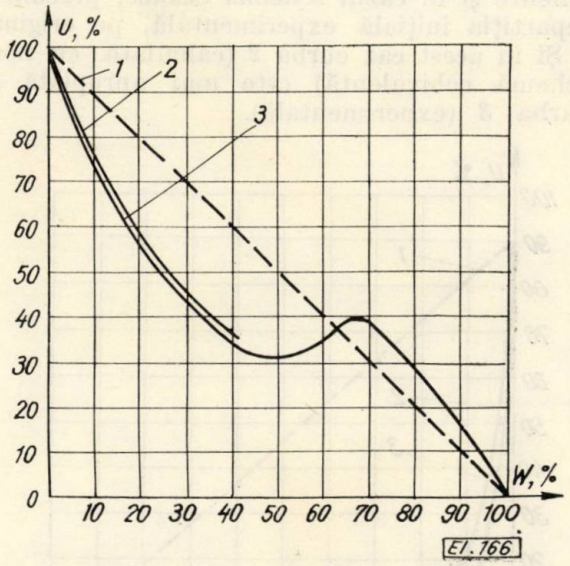


Fig. 3. Repartiția inițială a tensiunii de impuls pe înfășurările autotransformatorului 1 de 400 KV, în conexiune autotransformatorică:

1 — repartiția finală; *2* — repartiția inițială pe original; *3* — repartiția inițială calculată cu noua schemă echivalentă.

transformatorică, se constată o mare apropiere între repartiția inițială calculată și cea măsurată pe original.

În acestă figură, curba *2* (pe original) este trasată numai pentru spirele corespunzătoare înfășurării exterioare (restul înfășurării nu a putut fi accesibilă pentru experiențe, fiind plasată în interior).

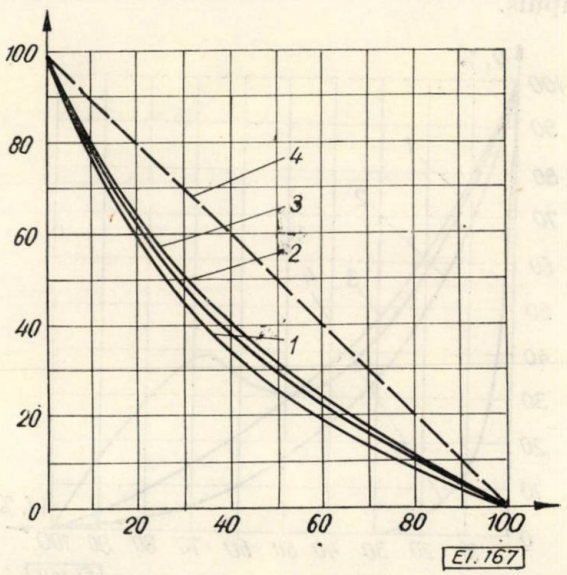


Fig. 4. Repartiția inițială în transformatorul *3* (242KV):

1 — curba calculată, considerînd înfășurarea de j.t. ca ecran; *2* — curba calculată, ținînd cont de capacitățile înfășurării de j.t.; *3* — curba determinată experimental; *4* — curba repartiției finale.

În figura 4 sînt reprezentate grafic distribuţia iniţială a tensiunii de impuls în transformatorul *3* (242 kV), în cazul noii scheme echivalente şi în cazul schemei clasice, precum şi repartiţia iniţială experimentală, pe original.

Şi în acest caz curba *2* (calculată cu noua schemă echivalentă) este mai apropiată de curba *3* (experimentală).

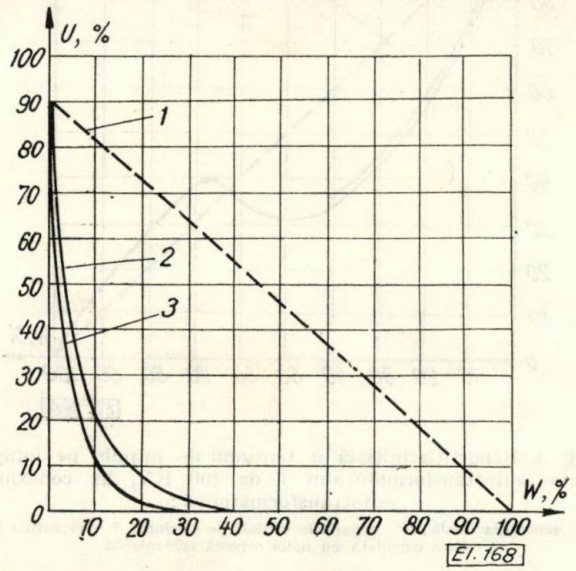


Fig. 5. Repartiţia iniţială în înfăşurarea transformatorului 4 (35 KV);
1 – repartiţia finală; *2* – repartiţia iniţială măsurată pe original; *3* – repartiţia iniţială calculată.

În figura 5 sînt reprezentate pentru transformatorul 4 de 35 kV (uşor accesibilă înfăşurarea de IT pentru experimentări), curbele calculată şi experimentală ale repartiţiei tensiunii de impuls.

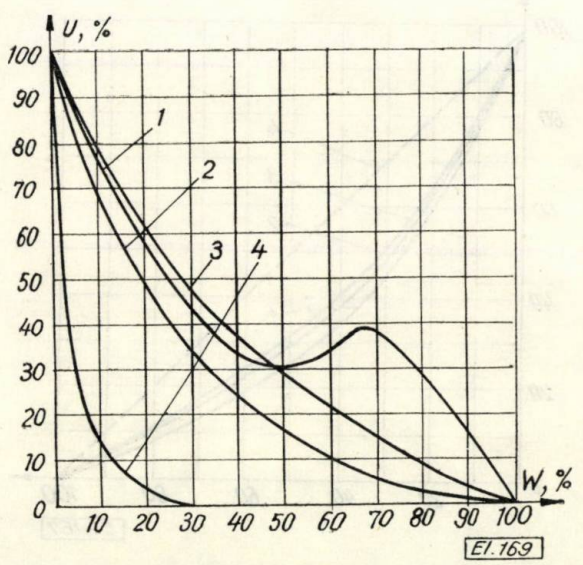


Fig. 6. Repartiţia iniţială calculată pentru patru transformatoare de putere:
1 – autotransformator 400 kV; *2* – transformator – 240 KV; *3* – transformator – 242 kV; *4* – transformator – 35 KV.

În figura 6 sînt redate comparativ, curbele repartiţiei iniţiale, calculate pentru toate cele patru transformatoare analizate.

Se observă cît de mare este concentrarea tensiunii pe circa 10% din înfăşurare (cca 87% din tensiune) pentru transformatorul de 35 kV (nr. 4), în comparaţie cu transformatorul 3 de 242 kV, la care numai 23% din tensiunea aplicată se repartizează pe primele 10% din spire.

Din curbele repartiţiei iniţiale a tensiunii de impuls se determină înfăşurătoarea maximelor tensiunilor, faţă de masă, aşa cum s-a arătat mai sus şi gradientul maxim la intrare (pe primul element de înfăşurare). Gradientul maxim se calculează scăzînd din amplitudinea undei aplicate, valoarea potenţialului corespunzător punctului de sfîrşit al primului element de calcul, luat din curba repartiţiei iniţiale.

La calculul rezervelor de izolaţie faţă de tensiunea de ţinere au rezultat următoarele valori:

– trafo 1, de 400 kV, +47%;
– trafo 2, de 240 kV, + 11,75 %;
– trafo 3, de 242 kV, +20%;
– trafo 4, de 35 kV, +4,28 %.

Rezerva de izolaţie între înfăşurări depăşeşte 20% pentru toate transformatoarele de mai sus.

Concluzii

Din cele prezentate rezultă că transformatorul 1 are cea mai mare rezervă de izolaţie, iar transformatorul *4*, cea mai mică rezervă.

Din compararea curbelor repartiţiei iniţiale din figura 6 se constată că transformatorul *3* are cea mai uniformă repartiţie iniţială, iar izolaţia dintre galeţi şi spire este calculată cel mai judicios.

Metoda de calcul expusă constituie un mijloc rapid şi economic de studiu al repartiţiei tensiunii de impuls în transformatoare. Calculul repartiţiei iniţiale a tensiunii de impuls pentru transformatorul *3* care constă în rezolvarea unui sistem de 62 ecuaţii cu 62 necunoscute a durat 2′ la calculatorul IRIS 50, iar pentru autotransformatorul *1* (un sistem de 97 ecuaţii cu 97 necunoscute) a durat circa 3′ cu acelaşi calculator.

Concordanţa între rezultatele obţinute cu această metodă şi cele experimentale conduce la concluzia că utilizarea metodei expuse aduce un surplus de precizie în special în zona de mijloc a înfăşurării.

Bibliografie

[1] *Preininger, G.* Die Berechnung der Stossspannungsbeanprüchung von Transformatoren mittels Digitalrechner. Elin Zeitschrift, 1967, p. 101 – 112.
[2] *Hartil, E. K.* The Initial Impulse Voltage Distribution on a Transformar Winding. In: Bull. of Elektrical Engineering Education, iunie 1953, p. 45.
[3] *Abetti. P. A.* Pseudo-Final Voltage Distribution in impulsed Coils and Windings. In: AIEE Transaction **79** III 1960, p. 87 – 91.

Intrat în redacţie la 28.06. 1972

Materiale stratificate rezistente la temperaturi înalte realizate în țară

GRIGORE NICOLA — București

CZ 621.315.621.6 + 621.315.614.73

În lucrări publicate anterior [1], [2] s-a prezentat modul de obținere și proprietățile unor noi tipuri de materiale stratificate cu suport țesătură de sticlă fabricate la F.C.M.E.-București, conform N.I.D. 2894-71, sub noua denumire de STICLOSTRATITEX [3].

În lucrarea [3] s-au prezentat, de asemenea studiile efectuate la F.C M.E. în vederea obținerii unui nou tip de material stratificat cu suport țesătură de sticlă și rășină epoxidică modificată, precum și proprietățile lui. Din lucrarea [3] a reieșit că materialul stratificat obținut posedă înalte proprietăți mecanice și electrice în condiții normale și în medii cu umiditate ridicată.

Industria noastră constructoare de mașini și aparate electrice necesită materiale stratificate cu suport anorganic, rezistente la temperaturi înalte. Asemenea materiale stratificate conțin ca suport o țesătură de sticlă tratată cu finiș și ca liant o rășină epoxidică clasică [4] sau specială reticulată cu un compex de trifluorură de bor, BF3NH2R [5], cu anhidridă nadică [4], [5], metil nadică [4], cu anhidridă piromielitică [4], [5] și cu diaminodifenilmetan [5].

De asemenea, pentru aceleași scopuri este indicată folosirea unor rășini epoxidice modificate cu rășini fenoloformaldehidice de tip novolac [4], [5], [6] sau cu rășini siliconice [4] și a rășinilor siliconice modificate cu rășini fenoloformaldehidice [4], [7]. În ultimul timp se indică multe tipuri de rășini pentru temperaturi înalte, dintre care numai unele au aplicații industriale ca de exemplu rășinile poliamidice [8] și polibenzimidazolice [7], [9].

Ca temperatură înaltă, conform lucrărilor [4], [10], [11], [12], este considerată o temperatură mai mare sau egală cu 200°C. Pentru ca un material stratificat să fie rezistent termic este necesar ca acesta să aibă pierderi în greutate scăzute [4], iar valoarea rezistenței la încovoiere să nu scadă sub 40% din valoarea inițială, după expunere la temperatura înaltă un timp bine determinat [4]. În alte lucrări [4], [12], [13] se indică determinarea rezistenței la încovoiere la temperatura respectivă [4]. Astfel, pentru materiale stratificate pe bază de rășini epoxidice speciale se menționează că pierderile în greutate după expunere la temperatura de 500°F timp de 500 ore sînt de 12,6%, în timp ce pentru un material stratificat ce conține ca liant epoxi-novolac, acestea sînt de 13%.

Lucrări experimentale

Pentru a se putea compara cu materialele stratificate realizate în alte țări, în scopul recomandării în construcția de mașini și aparate electrice ce vor funcționa la temperaturi înalte, s-au încercat materiale stratificate cu suport țesătură de sticlă și diferite rășini fabricate la F.C.M.E.-București, prezentate în lucrările [1], [2], [3], [14]. Ca temperatură înaltă pentru încercări a fost aleasă, conform celor arătate mai înainte, temperatura de 200°C și 250° C. Materialele stratificate cu suport țesătură de sticlă luate pentru încercarea la temperatură înaltă au fost următoarele:

— material stratificat cu suport țesătură de sticlă tratată cu finiș și rășină crezoloformaldehidică modificată, fabricat la F.C.M.E. sub denumirea nouă de STICLOSTRATITEX S 670, conform NID 2894—71. Proprietățile fizico-mecanice și electrice ale materialului stratificat în condiții normale și după menținerea la umiditate au fost prezentate în lucrarea [1];

— material stratificat cu suport țesătură de sticlă tratată cu finiș și rășină melaminoformaldehidică, fabricat la F.C.M.E., conform NID 2894—71, sub denumirea de STICLOSTRATITEX S 671. Proprietățile fizico-mecanice și electrice, precum și comportarea la curenții de scurgere a materialului stratificat în condiții normale și după menținerea la umiditate au fost prezentate în lucrarea [2];

— material stratificat cu liant rășină epoxidică modificată și țesătură de sticlă groasă, fabricat la F.C.M.E. conform NID 2894—71 sub denumirea de STICLOSTRATITEX S 672 Considerațiile privind acest produs au fost specificate în lucrarea [3], iar proprietățile produsului au fost prezentate în lucrarea [14];

—material stratificat cu liant rășină epoxidică și țesătură de sticlă subțire, fabricat la F.C.M.E., conform NID 2894—71, sub denumirea nouă de STICLOSTRATITEX S 673. Considerațiile asupra produsului au fost arătate în lucrarea [3], iar proprietățile produsului au fost date în lucrarea [14]. Observație: grosimile sub 2,5 mm de la tipul STICLOSTRATITEX S 672 au fost făcute cu țesătură de sticlă subțire;

— material stratificat realizat experimental la F.C.M.E. cu țesătură de sticlă groasă tratată cu finiș și cu liant rășină epoxidică modificată. Proprietățile materialului stratificat în condiții normale și după menținere la umidi-

* *Gr. Nicola* este inginer principal la F.C.M.E.

Tabela 1

Rezistența la încovoiere a materialelor stratificate în timpul menținerii la temperatura de 200°C.

Condiții de încercare	Rezistența la încovoiere (kgf/cm²) pentru sticlostratitex tip:					
	S670	S671	S672	S673	S672/1	S673
1. în condiții normale						
— pe urzeală	4115,4	4354,1	6907,3	7342,7	5860,4	5307,5
— pe bătătură	3153,6	3707,5	6907,3	7342,7	3453,2	5307,5
2. după menținere timp de 100 ore la temperatura de 200°C						
— pe urzeală	4100,2	1986,4	6756,4	6980,5	5803,5	5306,5
— pe bătătură	3130,4	1645,3	6756,4	6980,5	3406,7	5306,5
3. după menținere timp de 300 ore la temperatura de 200°C						
— pe urzeală	4607,3	1684,5*	6155,4	6274,3	5504,0	5300,0
— pe bătătură	3045,4	1426,2*	6155,4	6274,3	2430,5	5300,0
4. după menținere timp de 500 ore la temperatura de 200°C						
— pe urzeală	3660,3	684,6**	5386,4	4715,4	4875,6	4750,4
— pe bătătură	2768,4	362,1**	5368,4	4715,4	2885,8	4750,4
5. după menținere timp de 500 ore la temperatura de 200°C						
— pe urzeală	89,1	15,3	77,8	64,2	83,1	76,4
— pe bătătură	87,8	15,4	77,8	64,2	83,6	76,4

*38,7%
**38,5%

tate au fost indicate în lucrarea [3]. În prezenta lucrare acest material stratificat va fi notat cu STICLOSTRATITEX S 672/1;

— material stratificat realizat experimental la F.C.M.E. cu țesătură de sticlă subțire netratată cu finiș și rășină epoxidică modificată. Proprietățile materialului stratificat în condiții normale și după menținerea la umiditate au fost prezentate în lucrarea [3]. În lucrarea de față acest material stratificat va fi notat cu STICLOSTRATITEX S 673/1.

Din materialele stratificate s-au executat epruvete pe care s-au efectuat următoarele încercări (după menținere timp de 500 ore la temperatura de 200°C și după menținere 1000 ore la temperatura de 250°C):

— rezistența la încovoiere, pe epruvete cu dimensiunile de 120 × 15 × 10 (11) mm, conform STAS 5874—58;

— rezistența la compresiune, pe epruvete cu dimensiunile de 10 × 10 × 15 mm conform STAS 5873—58;

— pierderi în greutate, pe epruvete cu dimensiunile de 50 × 50 × grosimea, mm, în etuvă ventilată în aer;

— rezistența la despicare, pe epruvete cu dimensiunile de 15 × 15 × 10 (11) mm, conform STAS 7144—71;

— încercarea la tensiune paralel cu straturile, conform STAS 7144—71 și STAS 6257—68, cu distanța între marginile electrozilor de 25 mm, la temperatura de 90°C;

— rezistența electrică între fișe s-a efectuat conform STAS 6107—66.

Întrucît, pînă în prezent, în țară nu s-a mai constatat o asemenea comportare la temperaturi înalte s-a ales inițial temperatura de 200°C și un timp de expunere de maximum 500 ore, iar ca determinare specifică a fost aleasă rezistența la încovoiere. În tabela 1 se prezintă valorile rezistenței la încovoiere ale materialelor stratificate inițial și după expunere timp de 100, 300 și respectiv 500 ore la temperatura de 200°C. Variația rezistenței la încovoiere a materialelor stratificate în timpul expunerii la temperatura de 200°C este dată în figura 1. Atît din figura 1, cît și din tabela 1 se constată următoarele:

— materialul stratificat tip 671, avînd ca liant rășina melaminoformaldehidică, după expunere 300 ore la temperatura de 200°C are rezistența la încovoiere de circa 40% din valoarea inițială, iar după menținere 500 ore, aceasta se reduce la circa 15% din valoarea inițială;

— tipurile conținînd ca liant rășina fenoloformaldehidică S 670 și epoxidică modificată (S 672, S 672/1, S 673, S 673/1), după expunere timp de 500 ore la temperatura de 200°C nu se diferențiază decît puțin între ele (valoarea rezistenței la încovoiere e cuprinsă între circa 90% pentru tipul S 670 și circa 65% pentru tipul S 673);

— deoarece se constată că nu există o diferență netă între tipul fenoloformaldehidic mo-

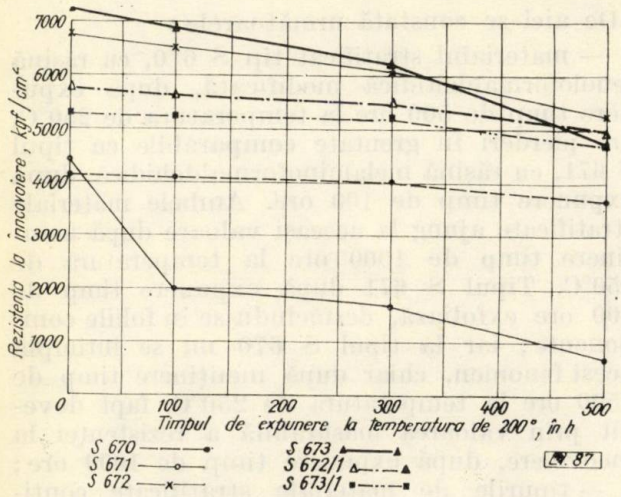


Fig. 1. Variația rezistenței la încovoiere a materialelor stratificate în funcție de timpul de menținere la temperatura de 200°C.

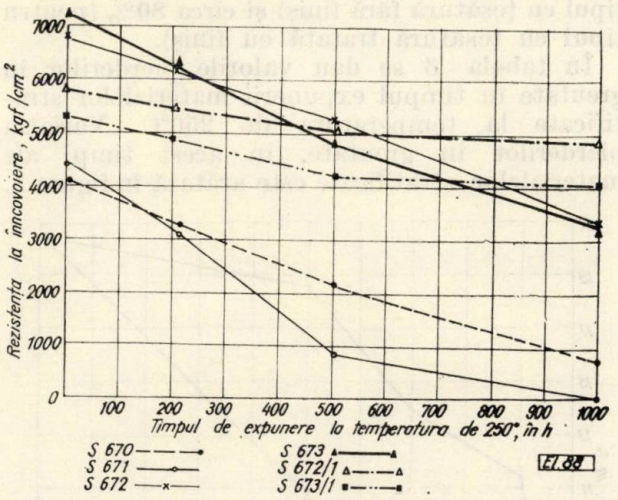


Fig. 2. Variația rezistenței la încovoiere a materialelor stratificate în funcție de timpul de menținere la temperatura de 250°C.

dificat și cele epoxidice modificate la temperatura de 200°C, s-a ales, ca temperatură de expunere a epruvetelor conform celor arătate mai înainte, temperatura de 250°C.

În tabela 2 se prezintă valorile rezistenței la încovoiere în timpul expunerii la temperaturi de 250°C, iar în figura 2, variația rezistenței la încovoiere în timpul menținerii la temperatura de 250°C. Din acestea se constată următoarele:

- - valoarea rezistenței la încovoiere, pentru tipul S 670, cu rășină fenoloformaldehidică, după expunerea timp de 500 ore la temperatura de 250°C, este de circa 50% din valoarea inițială, iar după menținerea epruvetelor timp de 1000 ore la 250°C, aceasta se reduce la circa 20% din valoarea inițială;

— tipul S 671, cu rășină melaminoformaldehidică, are rezistența la încovoiere după 500 ore la temperatura de 250°C comparabilă cu aceea obținută după menținere la temperatura de 200°C;

— tipurile conținînd ca liant rășina epoxidică modificată, S 672 și S 673, au valoarea rezistenței la încovoiere, după expunere timp de 1000 ore la 250°C de circa 45%, din valoarea inițială;

— tipurile cu rășină epoxidică modificată S 672/1 și tip S 673/1 au valoarea rezistenței la încovoiere cuprinsă între circa 70% (pentru

Tabela 2

Rezistența la încovoiere a materialelor stratificate în timpul menținerii la temperatura de 250°C.

Condiții de încercare	Rezistența (kgf/cm²) la încovoiere pentru Sticlostratitex tip:					
	S670	S671	S672	S673	S672/1	S673/r
1. în condiții normale						
— pe urzeală	4115,4	4354,1	6907,3	7342,7	5860,4	5307,5
— pe bătătură	3153,6	3707,5	6907,3	7342,7	3453,2	5307,5
2. după menținere timp de 500 ore la temperatura de 250°C						
— pe urzeală	2165,6	675,4*	5360,6	4710,5	4996,4	4200,0
— pe bătătură	1710,7	350,6**	5360,6	4710,5	3133,4	4200,0
3. după menținerea timp de 1000 ore la temperatura de 250°C						
— pe urzeală	750,4	—	3300,5	3290,7	4850,5	3986,6
— pe bătătură	605,6	—	3300,5	3290,7	2820,5	3986,6
4. după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C						
— pe urzeală	18,8	—	47,7	44,3	82,8	73,3
— pe bătătură	19,6	—	47,7	44,3	81,7	73,3

*15,5%
** 9,5%

tipul cu țesătură fără finiș) și circa 80% (pentru tipul cu țesătură tratată cu finiș).

În tabela 3 se dau valorile pierderilor în greutate în timpul expunerii materialelor stratificate la temperatura de 250°C. Variația pierderilor în greutate, în acest timp, ale materialelor stratificate este arătată în figura 3.

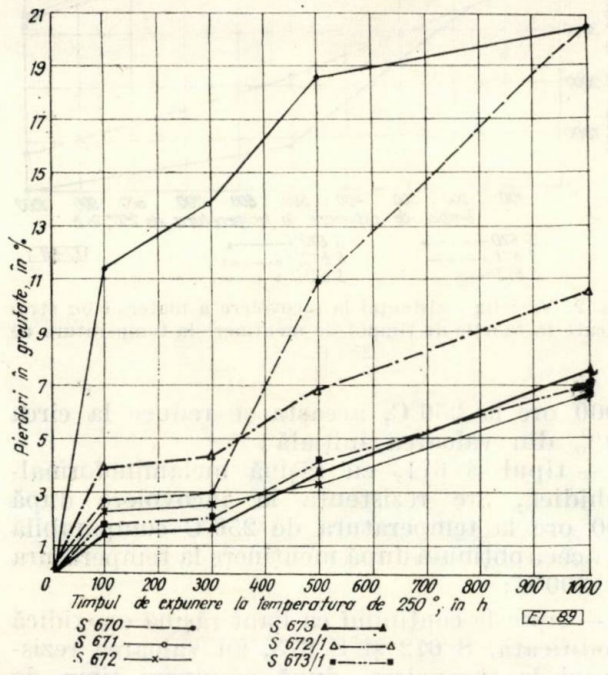


Fig. 3. Variația pierderilor în greutate ale materialelor stratificate în funcție de timpul de menținere la temperatura de 250°C.

De aici se constată următoarele:

— materialul stratificat tip S 670, cu rășină fenoloformaldehidică modificată, după expunere timp de 500 ore la temperatura de 250°C, are pierderi în greutate comparabile cu tipul S 671, cu rășină melaminoformaldehidică, după expunere timp de 100 ore. Ambele materiale stratificate ajung la aceeași valoare după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C. Tipul S 671 după expunere timp de 500 ore exfoliază, desfăcîndu-se în foliile componente; iar la tipul S 670 nu se întîmplă acest fenomen, chiar după menținere timp de 1500 ore la temperatura de 250°C, fapt dovedit prin valoarea măsurabilă a rezistenței la încovoiere, după expunere timp de 1000 ore;

— tipurile de materiale stratificate conținînd rășină epoxidică modificată S 672, S 673 și S 673/1, avînd ca suport țesătura de sticlă netratată cu finiș, au pierderi în greutate, aproximativ egale, după expunere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C, de circa 7%;

— tipul S 672/1, conținînd ca liant rășină epoxidică modificată, iar ca suport țesătură de sticlă tratată cu finiș, are pierderi în greutate cu valori intermediare între tipul S 670 (cu rășină fenoloformaldehidică modificată) și tipul S 673 (cu rășină epoxidică modificată), nedepășind însă valoarea de circa 10% după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C.

Pierderile în greutate nu sînt în concordanță directă cu valoarea rezistenței la încovoiere.

Tabela 3

Pierderile în greutate ale materialelor stratificate în timpul menținerii la temperatura de 250°C

Condiții de încercare	Pierderi în greutate,%*pentru Sticlostratitex tip:					
	S670	S671	S672	S673	S672/1	S673/1
1. după menținere timp de 100 ore la temperatura de 250°C						
— grosimea 1 — 2 mm	3,05	12,56	3,78	3,31	4,50	2,16
— grosimea 5 — 6 mm	3,17	12,98	2,24	2,15	4,17	1,98
— grosimea 10—12 mm	2,88	11,52	2,44	1,56	4,01	1,67
2. după menținere timp de 300 ore la temperatura de 250°C						
— grosimea 1 — 2 mm	3,17	13,53	4,03	4,02	5,06	3,08
— grosimea 5 — 6 mm	3,71	15,45	2,45	2,43	4,76	2,65
— grosimea 10—12 mm	3,03	13,88	2,69	1,86	4,43	2,08
3. după menținere timp de 500 ore la temperatura de 250°C						
— grosimea 1 — 2 mm	6,81	15,76	4,98	5,26	6,57	5,04
— grosimea 5 — 6 mm	10,74	17,53	3,25	3,04	6,01	4,08
— grosimea 10—12 mm	10,96	18,20	3,27	3,98	6,91	4,04
4. după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C						
— grosimea 1 — 2 mm	20,04	20,35	8,47	9,03	9,24	8,65
— grosimea 5 — 6 mm	20,56	22,26	4,62	5,39	9,56	7,38
— grosimea 10—12 mm	20,50	20,67	6,86	7,65	10,47	6,63

* media aritmetică a 3 epruvete cu dimensiunile de 50 x 50 x grosimea, în mm.

Astfel tipul S 672/1, avînd cele mai mari pierderi în greutate, ar fi trebuit să aibă cea mai mică valoare a rezistenței la încovoiere dintre toate materialele stratificate conținînd ca liant rășina epoxidică modificată, după menținere 1000 ore la 250°C. Din tabela 2 și din figura 2 se constată tocmai contrariul; cea mai mare rezistență la încovoiere, după expunere timp de 100 ore la temperatură se obține la tipul S 672/1.

În tabela 4 se prezintă proprietățile mecanice și electrice ale materialelor stratificate atît în timpul expunerii la temperatura de 250°C, cît și după aceasta. Din tabela 4 se constată următoarele:

— tipul S 670, cu rășină fenoloformaldehidică modificată, după expunere timp de 1000 ore la 250°C, are rezistența la compresiune și la despicare de circa 20% din valoarea inițială, valoare comparabilă cu aceea obținută la rezistența la încovoiere după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C;

— tipul S 671, cu rășină melaminoformaldehidică, după menținere timp de 500 ore la temperatura de 250°C are rezistența la compresiune și la despicare de circa 16% din valoarea inițială, valoare comparabilă cu aceea obținută pentru rezistența la încovoiere după expunere timp de 500 ore la temperatura de 250°C;

— tipurile S 672 și S 673 conținînd rășina epoxidică modificată (vechi), prezentate în lucrarea [14], au valoarea rezistenței la compresiune și a rezistenței la despicare de circa 50% din valoarea inițială, valoare comparabilă cu cea obținută la rezistența la încovoiere după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C;

— cea mai mare valoare a rezistenței la compresiune (de circa 65% după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C și de circa 70% pentru rezistența la despicare) se obține cu tipurile avînd ca liant rășina epoxidică modificată (noi) prezentate în lucrarea (3), valoare comparabilă cu cea obținută pentru rezistența la încovoiere după expunere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C;

— rezistența electrică între fișe cu valoarea cea mai mare de $5{,}0 \cdot 10^{12}$ Ω după expunere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C, se obține la tipurile epoxidice modificate, noi, S 672/1 și S 673/1, tipuri prezentate în lucrarea [3], urmează apoi valoarea de $6{,}5 \cdot 10^{11}$ ohmi. pentru tipurile epoxidice modificate S 672 și S 673, tipuri prezentate în lucrările [3], [14]. Cea mai mică valoare a rezistenței între fișe, după expunere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C se obține la tipul S 670, tip ce conține ca liant rășina fenoloformaldehidică modificată;

— la încercarea la tensiune timp de 1 minut, la temperatura de 90°C, toate materialele stratificate, exclusiv tipul S 671, țin la valoarea de 25 kV și apoi străpung la tensiunea de 35 kV, tipurile S 670, cu rășină fenoloformaldehidică modificată, S 672 cu țesătură de sticlă groasă și rășină epoxidică modificată și tipul S 673,

Tabela 4

Proprietăți mecanice și electrice ale materialelor stratificate după expunere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C

Nr. crt.	Timpul materialului stratificat Denumirea caracteristicii	Sticlostratitex tip: S670	S671	S672	S673	S672/1	S673/1
1.	în condiții normale						
	Rezistența la compresiune, kgf/cm²						
	— paralel cu structurile	1680,0	2860,0	2850,0	2860,0	2870,0	2815,0
	Rezistența la despicare, kgf.	530	680	740	705	575	486
	Încercarea la tensiune timp de 1 minut la temperatura de 90°C						
	— paralel cu straturile	25	25	40	40	40	40
	Rezistența între fișe Ω	1.10^{12}	1.10^{12}	1.10^{13}	1.10^{13}	1.10^{13}	1.10^{13}
2.	după menținere 1000 ore la 250°C						
	Rezistența la compresiune, kgf/cm²						
	— paralel cu structurile	350	508*	1420	1500	1860	1895
	Rezistența la despicare, kgf	110	108*	340	350	375	355
	Încercarea la tensiune timp de 1 minut la temperatura de 90°C						
	— paralel cu structurile	25/35**	—	25/35**	25/36**	25/40**	25/40**
	Rezistența între fișe, Ω	$7{,}5.10^{10}$	—	$6{,}5.10^{11}$	$6{,}5.10^{11}$	5.10^{11}	5.10^{12}
3.	după menținere timp de 1000 ore la 250°C						
	Rezistența la compresiune, %						
	— paralel cu structurile	19,2	17,2***	49,8	52,4	65,7	72,4
	Rezistența la despicare, kgf	20,8	15,8***	45,9	51,3	65,2	73,6

* după 100 ore; ** încercat la 25 KV, 1 minut apoi străpuns; ***după 100 ore la 250°C

cu rășină epoxidică modificată și țesătură de sticlă subțire netratată cu finiș. Cea mai mare valoare a tensiunii de străpungere paralel cu straturile, la temperatura de 90°C după expunere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C, de 40 kV se obține cu tipurile având ca liant rășina epoxidică modificată, [3];

— din cele prezentate în tabela 4 se constată că pierderile în greutate nu sînt în concordanță cu valorile obținute pentru rezistența la compresiune, rezistența la despicare, tensiunea de străpungere și rezistența între fișe, după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C, astfel, conform tabelei 3, după expunere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C, tipul S 670, cu rășină fenoloformaldehidică ar fi trebuit să aibă cea mai mică tensiune de străpungere, dintre toate materialele stratificate, exclusiv tipul S 671. Din tabela 4 se constată că tipul S 670 are valori asemănătoare cu tipurile având ca liant rășina epoxidică modificată și care au cele mai mici pierderi în greutate. Tipul S 670, ce conține ca liant rășina fenoloformaldehidică are o comportare asemănătoare tipurilor fenoloformaldehidice realizate în alte țări [4], [15].

Din cele prezentate se desprind următoarele concluzii:

— cea mai bună rezistență la încovoiere, după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C se obține cu tipurile S 672/1 și S 673/1, care conțin ca liant rășină epoxidică modificată, cea mai mică rezistență la încovoiere după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C se obține cu tipul S 671, ce conține ca liant rășină melaminoformaldehidică;

— pierderile în greutate dau indicații informative asupra rezistenței termice a liantului însă nu sînt în concordanță cu valorile obținute la proprietățile electrice și mecanice în timpul expunerii materialelor stratificate la temperatura de 250°C;

— valoarea rezistenței la compresiune și a rezistenței la despicare, după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C, este comparabilă cu aceea a rezistenței la încovoiere;

— valoarea rezistențelor mecanice ale tipului S 670, cu rășină fenoloformaldehidică modificată, după menținere timp de 500 ore la temperatura de 250°C este comparabilă cu aceea a tipurilor ce conțin ca liant rășina epoxidică modificată (S 672, S 672/1, S 673, S 673/1);

— tipul S 670, cu rășină fenoloformaldehidică modificată care are cele mai mici proprietăți mecanice, după menținere timp de 1000 ore la temperatura de 250°C, are rigiditatea dielectrică comparabilă cu aceea a tipurilor care au ca liant rășină epoxidică modificată (S 672, S 672/1, S 673, S 673/1);

— materialele stratificate realizate în țară, exclusiv tipul S 671, cu rășină melaminoformaldehidică, au o bună comportare la temperatura de 250°C și sînt recomandate în construcția de mașini și aparate electrice solicitate termic;

— tipul S 671, cu rășină melaminoformaldehidică, după menținere timp de 100 ore la temperatura de 250°C, are proprietăți comparabile cu produsele similare fabricate în alte țări.

Bibliografie

[1] *Nicola, Gr.* Noi tipuri de materiale stratificate cu suport anorganic pentru electrotehnică. În: Materiale Plastice, **6**, nr. 2, 1969, p. 92—96.

[2] *Nicola, Gr.* Noi tipuri de materiale stratificate cu suport anorganic pentru electrotehnică. În: Electrotehnica, **19**, nr. 2, 1971, p. 62—66.

[3] *Nicola, Gr.* Noi tipuri de materiale stratificate cu suport țesătură de sticlă și rășină epoxidică pentru electrotehnică. În: Electrotehnica, **20**, nr. 5, 1972, p. 180—188.

[4] *Brenner, W.* High temperature plastics. Ed. Reinhold Publishing Corp., New York, 1962.

[5] * C.A. 1967, 38568s, 66.

[6] * C.A. 1965, 64, 3785g.

[7] * C.A. 1966, 65, 13899f.

[8] * C.A. 1067, 67, 33439.

[9] * C.A. 1966, 65, 13877g.

[10] * C.A. 1968, 69, 78190f.

[11] * C.A. 1967, 67, 12077b.

[12] * C.A. 1965, 64, 6768f.

[13] * C.A. 1967, 66, 86310y.

[14] *Macău, I.* Preocupări în diversificarea materialelor electroizolante. În: Electrotehnica, **17**, nr. 7—8, 1969, p. 294.

[15] * C.A. 1968, 69, 10383d.

Intrat în redacție la 31.07.1972

Utilizarea microscopiei electronice la studiul structurii materialelor electrotehnice și electronice

ALICE HAFNER* — București

CZ 621.315.611 :537.533.3

Elaborarea unor materiale cu caracteristici superioare, reclamă stabilirea unor corelații între structura și proprietățile de utilizare ale acestora [1]. În acest scop, se impune ca, în primul rînd, să se răspundă la următoarele întrebări:

— ce proprietăți structurale sînt mai strîns legate de proprietățile de utilizare impuse?

— care sînt mărimile caracteristice care descriu cel mai bine proprietățile structurale?

— ce metodă de investigare trebuie utilizată (analize chimice, raze X, microscopie optică, microscopie electronică etc.)?

La aceste întrebări nu se poate da un răspuns general valabil, deoarece problemele puse de analiza structurală variază în funcție de materialul de studiat și de proprietățile structurale care prezintă importanță în exploatare. Din aceste considerente și pentru a ilustra modul în care pot fi abordate asemenea probleme, în cele ce urmează ne vom referi la anumite materiale, utilizate pe scară largă în industria electrotehnică și electronică și care, în particular, au constituit și obiectul cercetărilor noastre.

a) *Porțelanului electrotehnic* i se impun în exploatare un ansamblu de proprietăți mecanice și electrice, determinate de următorii parametri structurali [2]—[4]:

— compoziția chimică a sticlei;

— granulația cuarțului relit;

— compoziția mineralogică a masei de porțelan;

— dimensiunea și distribuția porilor.

La rîndul său, compoziția mineralogică a produsului finit este determinată de caracteristicile materiilor prime utilizate pentru fabricarea pastei de porțelan.

b) *Proprietățile magnetice* impuse materialelor magnetice moi — de tipul feritei permivar și al feritei de bariu — sînt determinate de structura granulară a acestora, determinată la rîndul său de structura granulară a pulberilor de presare [5], [6].

c) *Proprietățile dielectrice*, rezistența la uzură, flexibilitatea și rezistența la coroziune a straturilor izolante depuse pe conductorii metalici prin netode electrochimice, depind de grosimea și porozitatea (dimensiunea porilor și numărul de pori, unitatea de suprafață) stratului obținut [7], [8].

d) *Proprietățile conductoare și rezistența mecanică* a periilor, pe bază de negru de fum, utilizate la mașini electrice, depind de [9]:

— mărimea agregatelor particulelor de negru de fum, care la rîndul său depinde de mărimea particulelor de negru de fum utilizat ca materie primă;

— repartizarea agregatelor de negru de fum în masa de liant;

— grosimea stratului de liant.

Din exemplele citate mai sus rezultă că stabilirea unei corelații între structura și proprietățile materialelor electrotehnice, respectiv electronice, necesită cunoașterea parametrilor structurali ce caracterizează materiile prime și produsele finite respective. Pe de altă parte, apare evidentă varietatea problemelor puse de analiza structurală, de unde și necesitatea alegerii cu grijă a celei mai corespunzătoare metode de analiză, pentru fiecare caz în parte, ținîndu-se seama de mărimea și distribuția constituienților în masa probei de analizat, precum și de proprietățile fizico-chimice ale acestora. Astfel, analiza distribuției granulometrice a materiilor prime în stare pulverulentă, se poate realiza prin mai multe metode: sitare, sedimentare, microscopie, fiecare din aceste metode aplicîndu-se într-un anumit domeniu de granulație [10], conform tabelei 1.

Tabela 1

Metoda de analiză	Limita inferioară μm
Sitare	50
Sedimentare gravitațională, cu controlul temperaturii, centrifugală	2 1 0,1
Microscopie în lumină vizibilă	0,5
Ultraviolet, în aer, în vid.	0,1 0,005
Microscop electronic	0,01
Ultramicroscop	0,005
Măsurare automată	2

Sau, dacă ne referim la stabilirea compoziției unui material dat, aceasta se poate determina fie prin metode chimice, fie prin analize de raze X, fie prin metode microscopice. Utilizarea metodelor chimice este legată însă de condiția ca componenții să prezinte reactivitate chimică diferită față de diverși reactivi chimici

* *Alice Hafner* este cercetător principal la Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică.

pentru a se putea face dozarea volumetrică a fiecăruia în parte, în timp ce metoda de analiză cu raze X se aplică numai în cazul în care componenţii prezenţi posedă forme cristaline bine determinate şi se află în cantitate suficientă pentru a putea fi decelaţi prin această metodă. În ceea ce priveşte utilizarea metodelor microscopice în analizarea compoziţiei unei probe date, acestea se bazează pe caracteristicile morfologice specifice fiecărui component utilizarea microscopiei optice sau a microscopiei electronice fiind determinată de granulaţia componentului respectiv.

Dintre metodele de analiză citate mai sus şi utilizate în mod curent pentru studierea structurii materialelor, microscopia electronică a fost utilizată într-o măsură mai mică pentru caracterizarea structurală a materialelor de tip electrotehnic şi respectiv electronic.

Ca urmare, considerăm utilă împărtăşirea experienţei acumulate de către Secţia de cercetări fizico-chimice din I.C.P.E., în domeniul folosirii microscopiei electronice în transmisie* pentru studiul materiilor prime şi a produselor finite utilizate în industria electrotehnică şi electronică.

Microscopia electronică — metodă de analiză structurală

Din punct de vedere constructiv, microscopul electronic este un instrument electronooptic, care conţine aceleaşi elemente constructive ca şi microscopul optic : sursă de lumină, sistem condensor, lentilă obiectiv, sistem proiector. Deosebirea esenţială faţă de acesta din urmă, o constituie înlocuirea sursei de lumină — albă sau monocromatică — cu un fascicul de electroni, permiţînd prin aceasta obţinerea unei puteri de rezoluţie simţitor îmbunătăţită (3 — 2 Å faţă de aproximativ 2000 Å, puterea de rezoluţie limită pentru microscoapele optice cu sistem de imersie) [11] — [15]. În acest sens, microscopul electronic, ca instrument de analiză structurală, oferă informaţii suplimentare cu privire la structura materialelor, fie prin completarea datelor obţinute prin intermediul microscopiei optice, fie prin stabilirea unor parametri structurali ce nu pot fi determinaţi prin alte metode de analiză. Într-adevăr, referindu-ne din nou la materialele discutate mai sus, se poate afirma, pe baza datelor din literatura de specialitate, că studiul structurii acestora reclamă utilizarea microscopiei electronice ca metodă de analiză structurală.

Astfel, structura periilor pe bază de negru de fum şi porozitatea stratului de oxid de aluminiu, obţinut prin oxidare anodică, se pot studia numai cu ajutorul microscopului electronic, avînd în vedere mărimea agregatelor de negru de fum şi grosimea stratului de liant prezent în perii [14], respectiv a diametrului porilor din stratul de oxid [15], [16].

Pe de altă parte, pentru obţinerea unei reprezentări cît mai fidele a structurii porţelanului şi a distribuţiei granulometrice a feritelor, microscopul electronic completează datele furnizate de celelalte metode de analiză. De exemplu, studiul compoziţiei porţelanului electrotehnic presupune în primul rînd evidenţierea tuturor componenţilor prezenţi : cuarţ, mulit sub două forme (acicular şi solzos), cristobalit. Utilizarea metodei de raze X este foarte laborioasă în acest caz, deoarece componenţii mai sus menţionaţi sînt dispersaţi într-o masă sticloasă, amorfă, care deţine proporţia majoritară în compoziţia porţelanului şi ca urmare, spectrul R.X obţinut, conţine în general linii slabe, greu de identificat. Pe de altă parte, cele două forme de mulit, nu pot fi identificate separat, metoda de RX oferind doar informaţii globale cu privire la cantitatea de mulit prezentă în probă. Rezultate optime se obţin prin utilizarea metodelor microscopice. Astfel, microscopul optic polarizant permite identificarea cuarţului prezent în masa sticloasă alături de mulit, pe baza proprietăţilor sale optice caracteristice : birefringenţă, unghi de extincţie, semn optic. Mulitul însă, nu poate fi identificat la fel de uşor la puterea de rezoluţie a unui microscop optic, deoarece este constituit din cristale aciculare foarte fine. De asemenea, de la o anumită dimensiune în jos, cristalele de cuarţ pot fi confundate cu cele de mulit, care prezintă proprietăţi optice asemănătoare. Microscopul electronic permite însă detectarea tuturor componenţilor prezenţi, cu granulaţie $<1\mu m$, inclusiv a mulitului solzos, nedetectabil prin metode chimice, RX sau alte metode microscopice.

1. *Prepararea probelor.* Problema esenţială în utilizarea microscopului electronic în transmisie — ca instrument de analiză structurală — constă în obţinerea unor preparate „transparente" la fasciculul de electroni utilizat ca sursă de lumină. Tehnicile de preparare utilizate în acest scop sînt numeroase şi variază nu numai de la un material la altul, ci şi de la un laborator la altul [11], [17], [18]. Din această cauză, în cele ce urmează — referindu-ne la cele două categorii principale de materiale, pulverulente şi compacte, vom arăta proprietăţile generale ce se impun preparatelor de microscopie electronică şi tehnicile utilizate în laboratorul nostru, în vederea studierii structurii acestora.

a) *Materiale pulverulente.* Pentru studiul materialelor pulverulente trebuie să se asigure, în primul rînd, observarea individuală a particulelor ce alcătuiesc pulberea.

* Microscopul electronic în transmisie, constituie — în momentul de faţă — cel mai răspîndit tip de microscop electronic, atît în ţară cît şi în străinătate.

Procedeul de obținere a preparatelor comportă în acest caz două etape:

— dispersarea probei;

— preparare membranei suport.

Membrana suport, după cum îi arată și numele, trebuie să îndeplinească numai funcția de „suport" pentru proba de analizat. Din această cauză, ea trebuie să posede următoarele proprietăți: transparență la electroni, rezistență mecanică stabilitate sub acțiunea fasciculului de electroni.

Substanțele organice de tipul coloidului, formvarului, parlodiului, care se pot prepara sub formă de pelicule subțiri, precum și filmele subțiri de carbon sau oxid de siliciu obținute prin depunere în vid, posedă calitățile menționate mai sus și sînt utilizate pentru realizarea membranelor suport. Tipul de membrană utilizată în laboratorul nostru pentru studiul materiilor prime de tip electronic sau electrotehnic — — este membrana obținută din peliculă de colodiu. În vederea realizării acestei pelicule se procedează astfel: se prepară o soluție de colodiu 2% într-un amestec de acetat de etil 20% și acetat de metil 78%. Se pregătește apoi un vas cu apă distilată. Cu un capilar fin (diametrul ~1 mm) se depune pe suprafața apei o picătură din această soluție. Picătura se întinde cu ușurință, dînd naștere la o peliculă subțire, a cărei grosime, pentru o concentrație dată de solvent, este determinată de diametrul vasului utilizat și de temperatura apei. De exemplu, pentru o soluție de colodiu 2%, cu un capilar cu diametrul de aproximativ 1 mm și un vas cu diametrul de 15 — 16 cm, se obține o peliculă de grosime 100—200 Å.

În vederea dispersării probei se utilizează un mediu lichid care trebuie să creeze un sistem dispers stabil. În acest scop, dispersantul trebuie: să se evapore fără să lase urme, să nu dizolve membrana — suport, să aibe un coeficient de tensiune superficială mic, pentru ca în timpul uscării (evaporării lichidului) particulele separate să nu formeze aglomerări îngreunînd în acest mod, observațiile la microscop. Ca lichid de dispersie se utilizează în general apa distilată (prepararea probelor de caolin, grafit, argint etc.)

În cazul particular, cînd particulele tind să formeze aglomerări, se practică includerea directă a particulelor în membrana — suport. (de exemplu, cazul pulberilor de presare folosite în fabricarea feritelor de bariu sau perminvar, a pulberilor de AgCdO utilizate în fabricarea contactelor sinterizate).

b) *Materiale compacte.* Examinarea la microscopul electronic a probelor cu o grosime prea mare pentru a fi „transparente" la electroni, se face indirect, prin intermediul unei tehnici speciale, numită tehnica amprentei sau a replicii. În principiu, această tehnică constă din realizarea unui mulaj sub formă de peliculă transparentă la electroni. Aceasta constituie tocmai replica (amprenta) suprafeței de studiat. Pentru ca replica să ofere posibilitatea obținerii corecte a structurii probei de studiat, trebuie să fie fidelă în redarea tuturor detaliilor topografice fine, de pe suprafața probei, să prezinte un grad de rezoluție corespunzător structurii materialului de studiat, să prezinte un contrast satisfăcător care să permită evidențierea tuturor detaliilor structurale (satisfăcînd totodată și cerințele specificate anterior pentru membrana-suport). Există o mare varietate de tehnici care permit obținerea replicilor; alegerea celei mai corespunzătoare metode fiind determinată de natura și proprietățile fizico-chimice ale materialului de studiat. Pentru studiul produselor finite utilizate în industria electrotehnică și electronică, s-a ales tehnica de obținere a replicilor în două etape, care constă în principiu în următoarele (fig. 1):

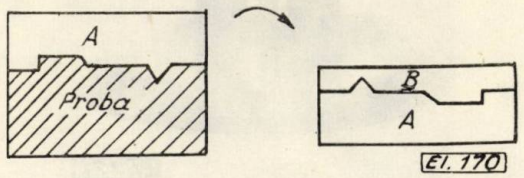


Fig. 1. Tehnică de obținere a replicilor în două etape.

— pe suprafața probei de studiat se aplică o soluție dintr-un material plastic; se lasă să se evapore solventul, creîndu-se astfel, o peliculă care poate fi exfoliată. În felul acesta se obține o replică preliminară, *A*, unde înălțimile și depresiunile sînt inversate în raport cu suprafața (replică negativă);

— peste replica preliminară *A*, se depune o peliculă *B*, prin evaporarea în vid a unui strat de carbon sau oxid de siliciu, de grosimea 100 — 200 Å. În urma dizolvării replicii *A*, cu ajutorul unui solvent corespunzător, care însă, nu trebuie să dizolve și materialul *B*, se separă acesta din urmă, obținîndu-se astfel replica finală (replica pozitivă) a suprafeței de studiat.

Această metodă de obținere a replicilor a fost utilizată în laboratorul nostru în două variante:

1) Pe suprafața probei de studiat, umectată în prealabil cu acetat de metil, se pune o folie din material plastic-triafol BN (acetobutirat de celuloză); grosimea foliei 0,1 mm;

— se acționează cu o presiune constantă asupra „sandwich-ului", probă + triafol, utilizînd dispozitivul din figura 2*, interpunînd între placa „*a*" și suprafața probei, un material elastic (macromolecular, expandat).

— după două ore, cînd solventul este complet evaporat, se îndepărtează placa „*a*" de

* Placa „*a*" se poate deplasa în sus și în jos cu ajutorul șurubului „*b*". Suprafața plăcii „*a*" trebuie să fie ceva mai mare decît suprafața probei de studiat, pentru a se asigura obținerea replicii de pe întreaga suprafață.

pe suprafaţa probei, iar folia de triafol poate fi dezlipită cu uşurinţă.

— peste folia de triafol care a preluat profilul suprafeţei de studiat şi reprezintă în acest

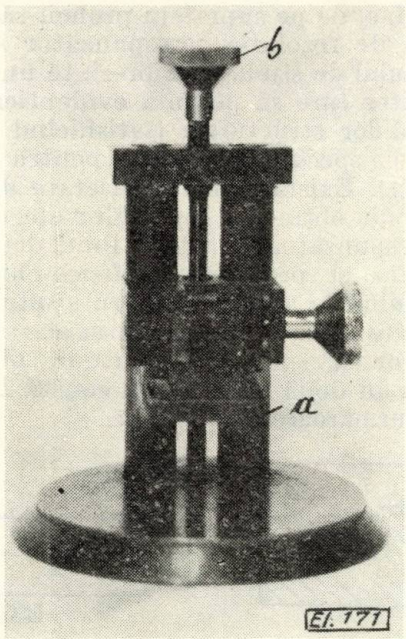


Fig. 2. Dispozitiv de presare utilizat pentru prelucrarea mulajului de pe suprafaţa probei.

mod, replica preliminară, se realizează depunerea în vid a unui strat de SiO de aproximativ 200 Å;

— prin dizolvarea peliculei de triafol, se eliberează filmul de SiO care reprezintă replica finală.

Aceasta se pune pe site-suport şi se poate examina în transmisie, la microscopul electronic.

Metoda de obţinere a replicilor, descrisă mai sus, a fost aplicată, cu mici modificări la studiul structurii porţelanului electrotehnic, feritei de bariu, feritei perminvar, oxidului de aluminiu [19 — 22].

2) Pe suprafaţa probei se depune în vid, un strat de Al de 2000 Å grosime;

— se acoperă proba cu o soluţie de gelatină 10% şi se lasă să se usuce;

— se deslipeşte complexul Al + gelatină şi se spală în apă caldă pentru înlăturarea gelatinei şi obţinerea peliculei de Al (replica preliminară);

— pe suprafaţa peliculei de Al obţinută astfel se realizează o depunere în vid a unui strat de SiO, de aproximativ 200 Å;

— se îndepărtează stratul de Al prin spălare în Na_2CO_3 10%, obţinîndu-se pelicula de SiO, care constituie replica finală a probei de analizat. Această tehnică a fost utilizată la studiul periilor pe bază de negru de fum.

În sfîrşit, merită de subliniat faptul că replicile, independent de metoda utilizată pentru obţinerea lor (metoda 1 sau 2), pot fi preluate de pe suprafeţe de spargere, ca în cazul periilor pe bază de negru de fum, de pe şlifuri metalografice şi / sau suprafeţe de spargere, ca în cazul porţelanului electrotehnic sau al feritelor, de pe suprafaţe neprelucrate, ca în cazul stratului de oxid de aluminiu, în funcţie de scopul urmărit de analiza structurală. În ceea ce priveşte folosirea preferenţială a suprafeţelor de ruptură sau a şlifurilor metalografice, aceasta depinde de natura componenţilor prezenţi, raportată la posibilităţile de evidenţiere a acestora, precum şi la posibilităţile de prelucrare mecanică în vederea preparării şlifurilor metalografice.

2. *Determinarea unor parametri structurali* Pe preparatele de microscopie electronică, obţinute prin una din tehnicile descrise mai sus, se pot face studii cu privire la natura, cantitatea, mărimea şi forma componentelor şi defectelor prezente în proba de studiat, utilizînd metode cantitative şi / sau calitative.

a) *Determinările cantitative* se referă la stabilirea dimensiunii granulelor, element structural de bază la scară microscopică, atît pentru pulberi cît şi pentru solide.

În microscopia cantitativă, dimensiunea granulei se defineşte ca fiind distanţa medie dintre două puncte de pe contur; ea poate fi stabilită fie prin observare directă, fie prin proiecţie pe un ecran, fie prin microfotografiere. În orice caz, această determinare presupune, pentru materiale pulverulente, existenţa unui sistem de particule bine dispersat (fig. 3), iar pentru materialele compacte obţinerea unor replici cu un asemenea grad de rezoluţie şi contrast,

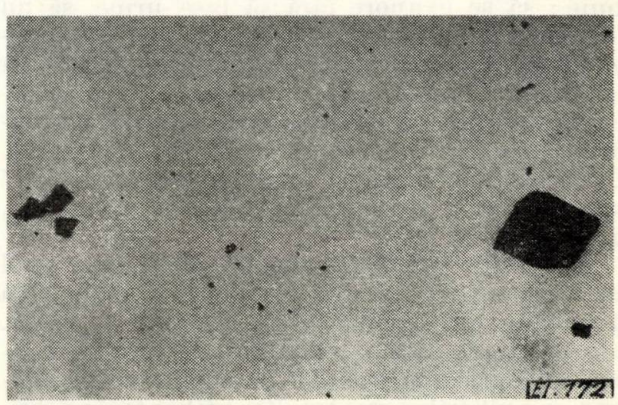


Fig. 3. Sistem dispers de particule (pulberi de presare pentru ferită perminvar). M = 8500 x.

care să permită evidenţierea clară a marginilor dintre granule (fig. 4; 5).

Cunoaşterea dimensiunii granulelor permite, prin intermediul unor metode statistice de calcul, stabilirea compoziţiei granulometrice

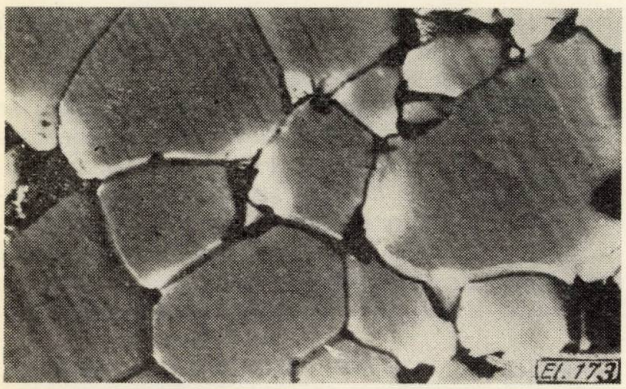


Fig. 4. Ferită de bariu $M = 8500$ x.

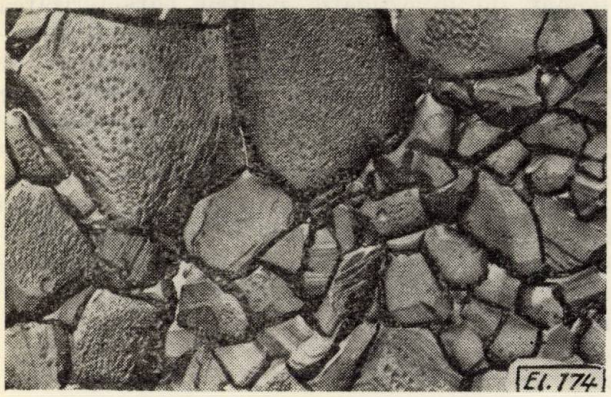


Fig. 5. Ferită perminvar $M = 8500$ x.

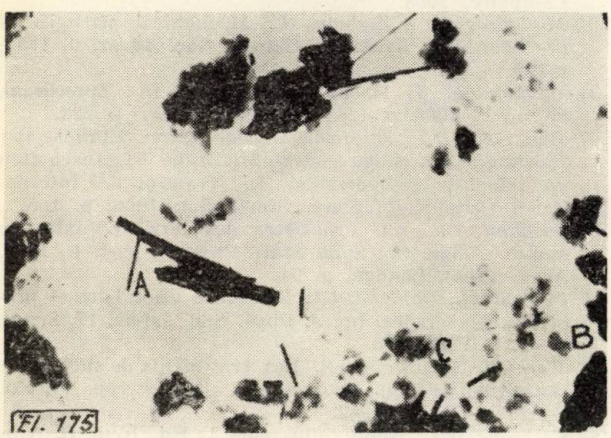


Fig. 6. Compoziţia mineralogică a caolinelor, materie primă utilizată la fabricarea izolatorilor de porţelan : A = haloizit ; B = cuarţ ; C = caolinit ; M = 5500 x.

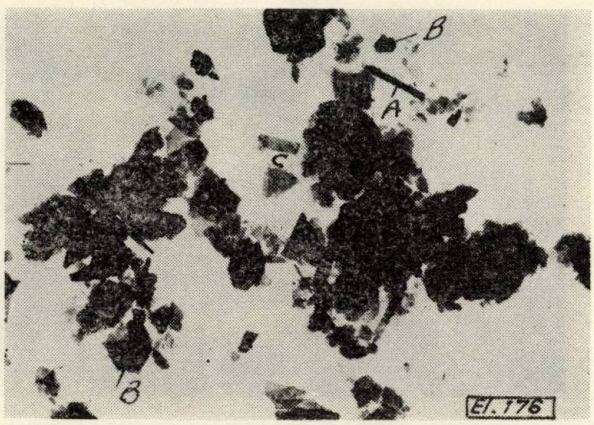


Fig. 7. Compoziţia mineralogică a caolinelor, materie primă utilizată la fabricarea izolatorilor de porţelan : C= caolinit ; B = cuarţ ; $M = 5500$ x

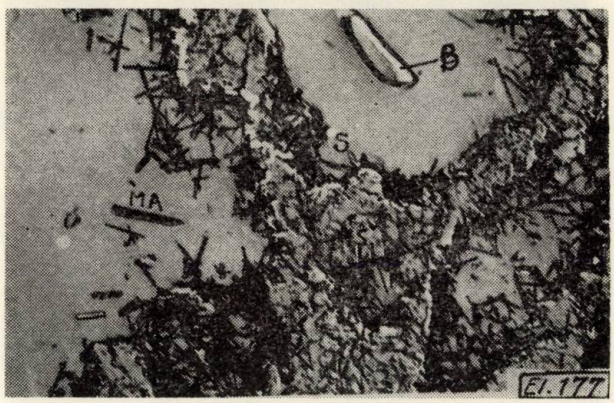


Fig. 8. Porţelan electrotehnic : B = cuarţ ; MA = mulit acicular ; MS= mulit solzos ; S = sticlă ; $M = 8500$ x.

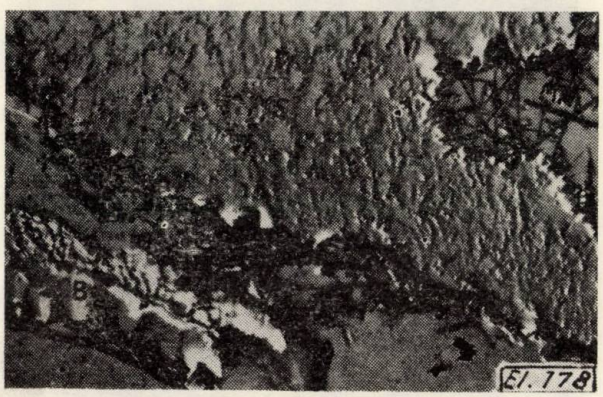


Fig. 9. Porţelan electrotehnic ; MS = mulit solzos ; MA = mulit acicular ; Cb = cristobalit ; $M = 8500$ x

a unui material dat [1], parametru deosebit de util pentru caracterizarea fineţei de măcinare a materiilor prime obţinute în urma unui proces de măcinare (pulberi de ferită de bariu şi perminvar) [23] ; în cazul materialelor obţinute ca rezultat al unui proces de sinterizare, se poate stabili o corelaţie directă între compoziţia granulometrică a pulberii măcinate, presinterizate şi compoziţia granulometrică a piesei sinterizate [23]. În sfîrşit, în cazul produselor finite ale căror proprietăţi de exploatare sînt dependente de granulaţia produsului finit, de exemplu permeabilitatea iniţială a materialelor magnetice moi, cunoaşterea parametrului mai sus menţionat şi corelarea modificărilor acestuia cu modificările survenite în proprietăţile sale de utilizare, permite obţinerea unor materiale de calitate superioară.

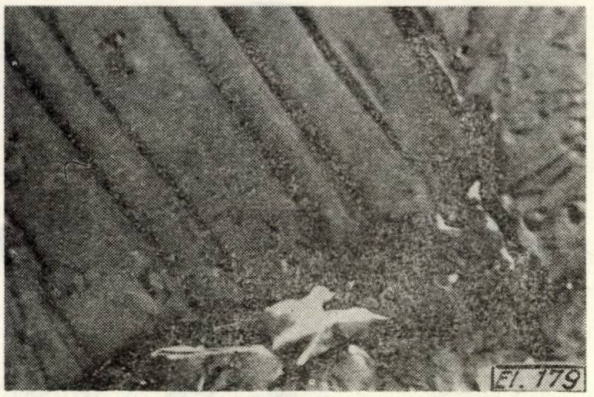


Fig. 10. Monocristal de ferită perminvar cu precipitate de hematită M = 8500 x.

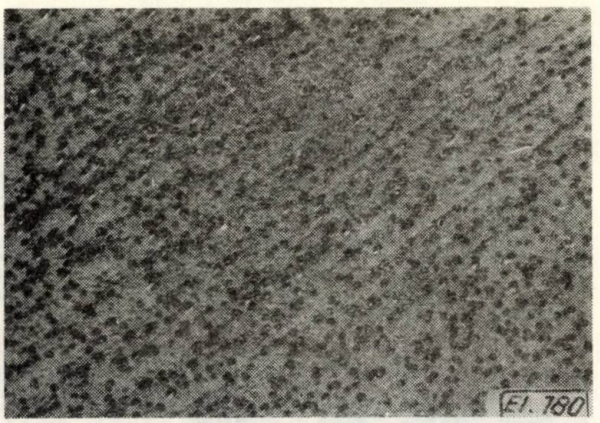


Fig. 11. Structura poroasă a stratului de oxid de aluminiu obținut prin oxidarea anodică a sîrmelor de Al. M=8500x

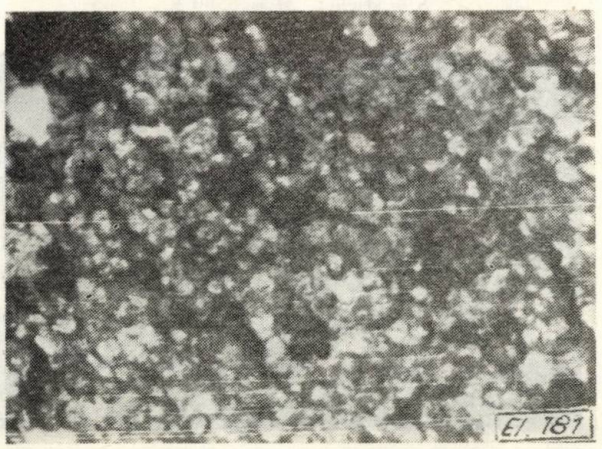


Fig. 12. Agregate de particulele de negru de fum separate prin straturi de liant (perii pentru mașini electrice). M = 12.000x

b) Determinările calitative se bazează pe caracteristicile morfologice ale granulelor. Ele oferă informații prețioase cu privire la reactivitatea materialelor pulverulente omogene și compoziția materialelor pulverulente neomogene (fig. 6 și 7), permițînd astfel aprecierea reactivității pulberilor precum și determinarea naturii și proporției în care se află diverșii constituenți ceea ce va determina ulterior, granulația și compoziția produselor finite.

Determinarea structurii produselor finite se bazează tot pe caracteristicile morfologice ale componenților prezenți (fig. 8 — 12), permițînd astfel, pe de o parte stabilirea unei corelații între structura materialelor prime și a produselor finite obținute, iar pe de altă parte stabilirea corelației dintre structura și proprietățile de exploatare a materialelor obținute.

Concluzii

Microscopia electronică constituie un mijloc eficient de investigație pentru caracterizarea structurală a materialelor, completînd informațiile obținute cu ajutorul altor metode de analiză. Prin intermediul determinărilor cantitative și calitative — corelate cu rezultatele date de microscopia optică și cu alte determinări fizice, electrice, mecanice — microscopia electronică contribuie la stabilirea unor corelații de tip structură — tehnologie de fabricație — proprietăți de utilizare, în vederea „proiectării" unor materiale cu proprietăți prestabilite.

Bibliografie

[1] * * * — Quantitative microscopy, Mc. Graw-Hill Book Company, 1968.
[2] *Mallyasovszky — Zsolnay, L.* Mechanical strength of procelain. In : J. Amer. Geram. Soc. **40** nr. 9, 1957, p.229.
[3] *Wiedemann, T.* Hochfestportzellane. In : Sprechsaal, **99**, nr. 11 1966, p. 428 ; și **100** nr. 6, 1967 p. 228.
[4] *Budnikov, P.P.* și *Maslennikova, G. N,* Einfluss der Glasphasse auf einige charakteristische Eigethschaften von Hochspannunporzellan. In : Trans of Xth International Ceramic Congress, Stockholm, 1966, p. 155.
[5] *Guilland, Ch.*, ș.a. Propriétés des ferrites mixtes de nickel — Zinc. In : Solid State Phys, **3**, part. I., 1960. Acad. Press, London, p. 71.
[6] *Paulus, M., Guilland, Ch.* Structure granulaire et propriétés des ferrites. In : J. Phys. Soc. Japan. **17**, Suppl. B—1, p. 632, 1963.
[7] *Wernick, S., Pinner, R.* Les traitments de surface et la finition de l'aluminium et ses alliages, cap. VI. Ed. Eyrolles, Paris, 1962.
[8] *Cochran, W.C.* Aluminium, vol. 3, Ed. Kent R. Van Horn, American Society for Metals, 1967, p. 641.
[9] *Irving Pincus* și *Norman J. Gendron* Microscopy and structures of bursh carbons. In : Proc. Fourth Carbon Conf., Pergamon Press, 1960, p. 687.
[10] *Herdan, G.* Small particle statistics, Ed. Butterworths, 1960, p. 24.
[11] *Magnan, C.* Traité de microscopie électronique, vol. I, Ed. Herman, Paris, 1961.
[12] *Trémolière, J.* Le microscope électronique. In : Toute l'Electronique, sep. nr. 328, 1968, p. 317.
[13] * * * — 27th Sci. Meet. Japan Soc. Electron Microscopy Kyoto, mai 1971. In : J. Electron Microscopy, vol. **20**, nr. 3, 1971, p. 215.
[14] *Reiswing, R. D., Levinson, L. S., Barker, T.D.* Optical and electron microscopy of carbonaceus materials In : Carbon, **5** nr. 6, dec. 1967,
[15] *Keller, F., Hunter, M.S., Robinson, D.L.* Structural features of oxide coatings on Aluminium In : J. Electrochem, Soc. **100**, nr, 9, sept. 1953, p. 411.

[16] *Booker, C.J.L., Wood, J.L.* Electron micrographs from thick oxide layers on Aluminium. In : Nature, **176**, iulie 1955, p. 222.
[17] * * * — Techniques for electron microscopy. Ed. Desmond H. Kay, Blackwell, Sci. Publ. Oxford 1965.
[18] *Brammar, I. S., Dewey, M.A.P.*, Specimen preparation for electron metallography. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 1966.
[19] *Hafner, A.* Studiul condiţiilor pentru evidenţierea microstructurii porţelanului. În. St. Cerc. Fiz., Acad. R.S.R., tom **21**, nr. 4, p. 467, 1969.
[20] *Neuberger, Y., Hafner, A.* şi *Olteanu D.* Contribution to the study of the structure of porcelain by microscope techniques. In : Trans. J. Brit. Ceram. Soc., vol. **71**, nr. 3, mai 1972, p. 89.
[21] *Hafner A.* şi *Bălăşescu Gh.* Metodă de microscopie electronică pentru determinarea porozităţii straturilor de Al_2O_3 obţinute prin oxidarea anodică a sîrmelor de Al. In : Rev. de Chimie, vol. **21**, nr. 11, 1970, p. 717.
[22] *Hafner, A.* şi *Neuberger J.* Contribuţii la studiul structurii feritelor de tip perminvar prin microscopie electronică. In : St. Cerc. Fiz., Acad. R.S.R., tom **23**, nr. 10, 1971, p. 1149.
[23] *Olteanu, D., Hafner, A.* şi *Bălăşescu, Gh.* şi *Neuberger I.* Cercetări efectuate privind aplicaţiile statistice matematice la analiza granulometrică prin microscopie optică şi electronică I-a Ses. Comunic. privind controlul statistic al calităţii produselor, Săvineşti, mai 1970.

Intrat în redacţie la 21.XI.1972

Voltmetre de tensiune alternativă cu scara extinsă cu diode Zener

IOAN BRAŞOVAN, MIHAI STOROSCIUC, ŞTEFAN HARKO* — Timişoara

CZ 621.317.726.085.4 :621.382.2

Instalaţiile de producere, transport, distribuţie şi utilizare a energiei electrice funcţionează la tensiuni, ale căror valori variază în limite restrînse în jurul tensiunilor nominale. La măsurarea tensiunilor din aceste instalaţii este avantajoasă folosirea voltmetrelor, care au scări de forma arătată în figura 1. Astfel de

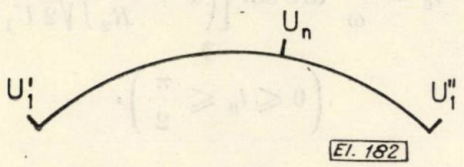


Fig. 1. Forma scării extinse :
U_n – tensiunea nominală a instalaţiei electrice în care se face măsurarea; U_1' – limita inferioară de măsurare a voltmetrului; U_1'' – limita superioară de măsurare a voltmetrului.

voltmetre — numite voltmetre cu scara extinsă la sfîrşit — se realizează legînd în mod corespunzător rezistenţe neliniare (lămpi cu incandescenţă [2], diode semiconductoare obişnuite [2], diode Zener [3]) şi alte elemente la dispozitive de măsurare magnetoelectrice.

În această lucrare se prezintă calculul voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrşit, cu ajutorul diodelor Zener precum şi unele proprietăţi specifice ale acestor voltmetre.

Calculul şi proprietăţile voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrşit, cu diode Zener

Schema unui voltmetru de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrşit, cu ajutorul diodelor Zener, este arătată în figura 2. Dispozitivul de măsurare magnetoelectric *DMM* şi diodele Zener *DZ* sînt legate prin intermediul punţii redresoare, alcătuită din patru diode semiconductoare *DS* şi a divizorului de tensiune rezistiv R_1, R_2 la tensiunea alternativă u_1, care urmează a se măsura. Calculul acestei scheme presupune determinarea dependenţei dintre deviaţia a a dispozitivului de măsurare magnetoelectric *DMM* şi tensiunea alternativă u_1. Ipotezele care stau la baza calculului sînt următoarele :

— tensiunea care se măsoară este alternativă sinusoidală de frecvenţă industrială ;

$$u_1 = \sqrt{2}\, U_1 \sin \omega t. \qquad (1)$$

— inductivităţile şi capacităţile elementelor schemei din figura 2 sînt neglijabile ;

— diodele semiconductoare *DS*, care alcătuiesc puntea redresoare, au caracteristicile

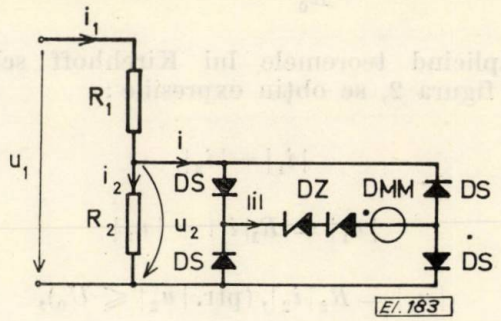


Fig. 2. Schema unui voltmetru de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrşit cu ajutorul diodelor Zener.

tensiune-curent identice şi rezistenţa inversă foarte mare ;

— echipajul mobil al dispozitivului de măsurare magnetoelectrice *DMM* are inerţia aşa

* Dr. ing. *I. Braşovan* este şef de lucrări la Catedra de electronică, automatică şi măsuri a Institutului politehnic „Traian Vuia"-Timişoara, *M. Storoşciuc* şi *St. Harko* sînt studenţi la acest institut.

de mare, încît deviază sub acţiunea valorii medii a curentului, care îi străbate înfăşurarea.

Porţiunea de circuit din figura 2, formată din dispozitivul de măsurare magnetoelectric *DMM*, diodele Zener *DZ* şi puntea redresoare, alcătuită din patru diode semiconductoare *DS* are caracteristica tensiune-curent (fig. 3) simetrică faţă de originea axelor de coordonate. Se observă că dispozitivul de măsurare magnetoelectric *DMM* este parcurs de curentul pulsatoriu $|i|$ obţinut prin redresarea curentului i. În aceste condiţii porţiunea din cadranul I a caracteristicii tensiune-curent, din figura 3, se aproximează analitic [1], prin două segmente de dreaptă avînd ecuaţiile:

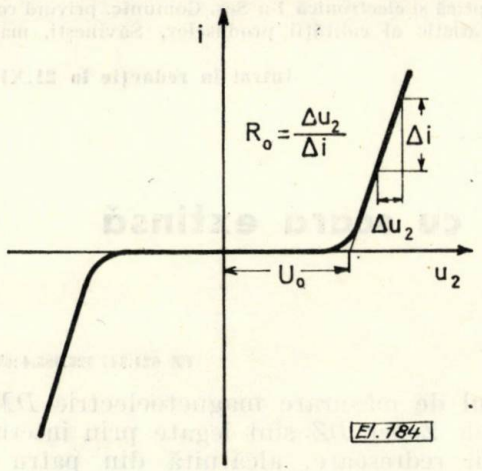


Fig. 3. Caracteristica tensiune–curent.

$$|i| = 0 \ (\text{ptr. } |u_2| \leqslant U_0), \tag{2'}$$

$$|i| = \frac{|u_2| - U_0}{R_0} \ (\text{ptr. } |u_2| \geqslant U_0). \tag{2''}$$

Aplicînd teoremele lui Kirchhoff schemei din figura 2, se obţin expresiile:

$$|i_1| = |i_2|, \tag{3'}$$

$$|u_1| = R_1|i_1| + |u_2| \tag{4'}$$

$$|u_2| = R_2|i_2|, \ (\text{ptr. } |u_2| \leqslant U_0), \tag{5'}$$

şi,

$$|i_1| = |i_2| + |i|, \tag{3''}$$

$$|u_1| = R_1|i_1| + |u_2|, \tag{4''}$$

$$|u_2| = R_0|i| + U_0 = R_2|i_2| \tag{5''}$$

$$(\text{ptr. } |u_2| \geqslant U_0).$$

Ţinînd seama de relaţiile (1), (2'), (2''), (3') (4'), (5') se ajunge la

$$|i| = 0\left(\text{ptr. } \frac{kT}{2} - t_0 \leqslant t \leqslant \frac{kT}{2}\right) + t_0), \tag{6'}$$

$$|i| = \frac{|u_2| - U_0}{R_0}\left(\text{ptr. } \frac{kT}{2} + t_0 \leqslant t \leqslant \frac{(k+1)\,T}{2} - t_0\right); \tag{6''}$$

în care, k este un număr întreg, T-perioada tensiunii alternative u_1, iar,

$$t_0 = \frac{1}{\omega} \arcsin\left[\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{U_0}{\sqrt{2}\,U_1}\right] \tag{7}$$

$$\left(0 \leqslant t_0 \leqslant \frac{\pi}{2}\right),$$

Pe baza relaţiilor (1), (2''), (3''), (4''), (5'') rezultă în continuare,

$$|i| = \frac{\sqrt{2}U_1|\sin \omega t| - \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)U_0}{R_1 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)R}, \tag{8}$$

$$\left(\text{ptr. } \frac{kT}{2} + t_0 \leqslant t \leqslant \frac{(k+1)T}{2} - t_0\right).$$

Deviaţia echipajului mobil al dispozitivului de măsurare magnetoelectric *DMM* este,

$$a = \frac{|i|_{\text{med}}}{C_I} = \frac{2}{C_I T}\int_0^{\frac{T}{2}} |i|\,\mathrm{d}t = \frac{2}{C_I T}\int_{t_0}^{\frac{T}{2}-t_0} |i|\,\mathrm{d}t =$$

$$= \frac{\sqrt{2}U_1\left\{\frac{2}{\pi}\left\{\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{U_0}{\sqrt{2}U_1} \arcsin\left[\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{U_0}{\sqrt{2}\,U_1}\right] + \sqrt{1 - \left[\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{U_0}{\sqrt{2}U_1}\right]^2}\right\} - \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{U_0}{\sqrt{2}U_1}\right.}{C_I\left[R_1 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)R_0\right]}. \tag{9}$$

C_I fiind constanta de curent a dispozitivului de măsurare magnetoelectric DMM. La cea mai mică valoare efectivă U_1' a tensiunii măsurată cu schema din figura 2, deviația a a echipajului mobil al dispozitivului de măsurare magnetoelectric DMM trebuie să fie zero (fig. 1) și ca urmare are loc relația:

$$\sqrt{2}U_1' = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) U_0 . \qquad (10)$$

Introducînd relația (10) în relația (9) se obține în final,

$$a = \frac{(R_1 + R_2)\, U_0}{(R_0R_1 + R_1R_2 + R_2R_0)C_I} \cdot F\left(\frac{U_1}{U_1'}\right), \qquad (11)$$

în care,

$$F\left(\frac{U_1}{U_1'}\right) = \frac{2}{\pi}\left[\arcsin\frac{U_1'}{U_1} + \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_1'}\right)^2 - 1}\right] - 1, \qquad (12)$$

este funcția reprezentată grafic în figura 4, pentru acele valori ale raportului U_1/U_1', care intervin în practică.

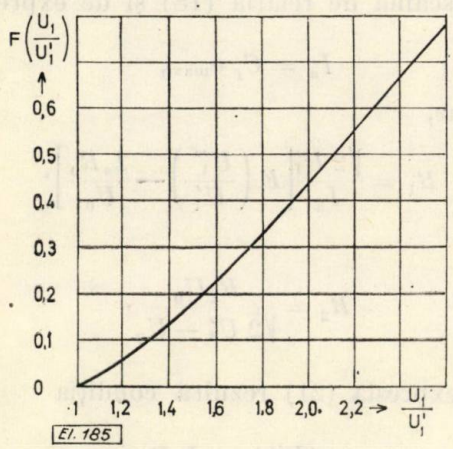


Fig. 4. Reprezentarea grafică a funcției $F(U_1/U_1')$.

Proprietățile specifice ale voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrșit, cu diode Zener, și avînd schema din figura 2 sînt următoarele:

1. *Precizia* este determinată de precizia dispozitivului de măsurare magnetoelectric *DMM*, a rezistențelor R_1, R_2, precum și de stabilitatea caracteristicilor diodelor semiconductoare DS și a diodelor Zener *DZ*. Printr-o alegere corespunzătoare a acestor elemente mai ales a diodelor Zener — se pot realiza voltmetre, care se încadrează în clasa de precizie 1. Datorită extensiei scărilor, erorile relative de măsurare ale tensiunii sînt mici de-a lungul domeniilor de măsurare ale acestor voltmetre.

Dacă forma de variație în timp a tensiunii alternative u_1, măsurată de voltmetre cu scara extinsă cu diode Zener, se abate de la cea sinusoidală, atunci precizia măsurării scade.

2. *Caracterul scării* acestor voltmetre este — după cum rezultă din relațiile (11), (12) — neliniar. Deoarece aproximarea analitică prin două segmente de dreaptă, avînd ecuațiile (2'), (2''), nu ține seama de forma cotului caracteristicii tensiune-curent din figura 3, scările

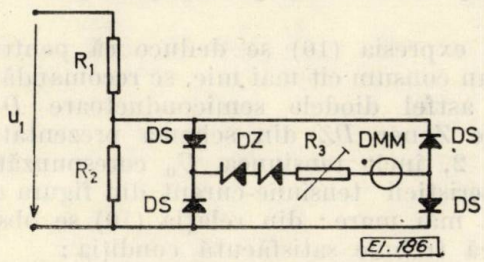


Fig. 5. Schema unui voltmetru de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrșit cu ajutorul diodelor Zener

extinse, determinate experimental, diferă întrucîtva de cele stabilite prin calcul cu ajutorul relațiilor (11), (12). Se recomandă din acest motiv introducerea unei rezistențe ajustabile R_3 în schema voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă cu diode Zener (fig. 5). Prin una sau două încercări se găsesc acele valori ale rezistenței ajustabile R_3, pentru care scările extinse determinate experimental se suprapun perfect peste cele calculate: unele abateri apar în prima zecime a scărilor.

3. *Consumul propriu* al voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă cu diode Zener se determină din relația:

$$S = U_1'' I_1'', \qquad (13)$$

în care U_1'', I_1'' sînt valorile efective ale tensiunii u_1, respectiv ale curentului i_1, corespunzătoare limitei superioare de măsurare (fig. 1).

Din relațiile (1), (3'), (4'), (5'), (3''), (4''), (5'') se determină:

$$|i_1| = \frac{\sqrt{2}U_1 |\sin \omega t|}{R_1 + R_2}, \qquad (14')$$

$$\left(\text{ptr. } \frac{kT}{2} - t_0 \leqslant t \leqslant \frac{kT}{2} + t_0\right),$$

$$|i_1| = \frac{(R_0 + R_2)\cdot\sqrt{2}U_1 |\sin \omega t| - R_2U_0}{R_0R_1 + R_1R_2 + R_2R_0}, \qquad (14'')$$

$$\left(\text{ptr. } \frac{kT}{2} + t_0 \leqslant t \leqslant \frac{(k+1)T}{2} - t_0\right).$$

Pe baza expresiilor (14'), (14'') rezultă:

$$\frac{U_1''}{R_1+R_2} \leqslant T_1'' \leqslant \frac{(R_0+R_2)U_1'' - \frac{R_2 U_0}{\sqrt{2}}}{R_0R_1+R_1R_2+R_2R_0}, \qquad (15)$$

și apoi, ținînd seama de relația (13), se scrie:

$$\frac{U_1''^2}{R_1+R_2} \leqslant S \leqslant \frac{(R_0+R_2)U_1''^2 - \frac{R_2 U_0 U_1''}{\sqrt{2}}}{R_0R_1+R_1R_2+R_2R_0}. \qquad (16)$$

Din expresia (16) se deduce că pentru a avea un consum cît mai mic, se recomandă a se alege astfel diodele semiconductoare *DS* și diodele Zener *DZ* din schema prezentată în figura 2, încît tensiunea U_0 corespunzătoare caracteristicii tensiune-curent din figura 4 să fie cît mai mare: din relația (10) se observă însă că trebuie satisfăcută condiția:

$$U_0 \leqslant \sqrt{2}\, U_1'. \qquad (17)$$

Dacă consumul propriu al dispozitivului de măsurare magnetoelectric *DMM* din schemă (fig. 2) este neglijabil ($R_0 \to \infty$), atunci consumul propriu *S* tinde către limita inferioară dată de expresia (16).

Calculul de dimensionare a voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrșit cu ajutorul diodelor Zener pe baza schemei din figura 2, se face astfel:

— se alege dispozitivul de măsurare magnetoelectric *DMM*, avînd precizia adecvată și consumul propriu cît mai scăzut, acest dispozitiv este caracterizat, prin curentul său nominal I_n, rezistența sa interioară R și numărul maxim de diviziuni a_{max} pe scară;

— se aleg unul sau mai multe diode Zener *DZ*, care au curentul nominal cu ceva mai mare sau egal cu cel nominal I_n al dispozitivului de măsurare magnetoelectric *DMM*. Pentru a asigura voltmetrului un consum propriu cît mai redus se recomandă ca suma tensiunilor Zener ale acestor diode să se apropie de limita superioară permisă de condiția (17). În vederea realizării unei fiabilități mai mari a voltmetrului, este bine ca numărul de diode Zener să fie redus la minimum, prin alegerea diodelor cu tensiunea Zener cît mai ridicată.

— se aleg diodele semiconductoare *DS*, care au curentul nominal mai mare decît jumătate din curentul nominal *I* al dispozitivului de măsurare magnetoelectric *DMM* și tensiunea inversă maximă admisă mai mare decît valoarea de vîrf a tensiunii u_2; cele patru diode semiconductoare *DS* trebuie să aibă caracteristicile „tensiune-curent" identice;

— se determină experimental caracteristica tensiune-curent (fig. 3) a porțiunii de circuit din figura 2, formată din dispozitivul de măsurare magnetoelectric *DMM*, diodele Zener *DZ* și puntea redresoare, alcătuită din patru diode semiconductoare *DS*. Din porțiunea din cadranul I a acestei caracteristici tensiune-curent se află mărimile U_0, R_0, corespunzătoare aproximării prin două segmente de dreaptă, avînd ecuațiile (2'), (2''). Mărimile U_0, R_0 se pot determina și prin calcul, pe baza rezistenței interioare R_i a dispozitivului de măsurare magnetoelectric *DMM*, precum și a caracteristicii tensiune-curent a diodelor Zener *DZ* și a diodelor semiconductoare *DS*;

— se calculează valorile rezistențelor R_1, R_2. Din relația (10) rezultă pentru limita inferioară de măsurare U' a voltmetrelor:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{2}\, U_1'}{U_0} - 1.$$

La limita superioară de măsurare U_1'' a voltmetrelor, expresia (11) devine:

$$a_{max} = \frac{(R_1+R_2)\, U_0}{(R_0R_1+R_1R_2+R_2R_0)\, C_I} \cdot F\left(\frac{U_1''}{U_1'}\right). \qquad (19)$$

Ținînd seama de relația (18) și de expresia

$$I_n = C_I\, a_{max}, \qquad (20)$$

se obține,

$$R_1 = \frac{\sqrt{2}\, U_1'}{I_n}\left[F\left(\frac{U_1''}{U_1'}\right) - \frac{I_n R_0}{U_0}\right], \qquad (21)$$

și

$$R_2 = \frac{R_1 U_0}{\sqrt{2}\, U_1' - U_0}. \qquad (22)$$

Din expresia (21) rezultă condiția

$$F\left(\frac{U_1''}{U_1'}\right) > \frac{I_n R_0}{U_0}, \qquad (23)$$

care trebuie satisfăcută, pentru ca schema din figura 2 să fie realizabilă.

Dacă:

$$F\left(\frac{U_1''}{U_1'}\right) = \frac{I_n R_0}{U_0}, \qquad (24)$$

atunci — conform relației (21) — se ajunge la

$$R_1 = 0. \qquad (25)$$

În acest caz în locul schemei din figura 2 se utilizează schema din figura 6 a cărei dimensio-

nare se face pe baza relațiilor:

$$U_0 = \sqrt{2}\, U_1', \tag{26}$$

$$R = \frac{U_0}{I_n} \cdot F\left(\frac{U_1''}{U_1'}\right) - R_0, \tag{27}$$

obținute prin introducerea relației (25) în expresia (10) și prin schimbarea notației R_0 cu notația $R + R_0$ în relația (24).

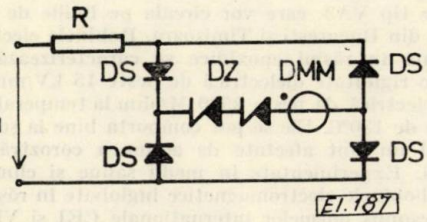


Fig. 6. Schema unui voltmetru de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrșit cu ajutorul diodelor Zener.

Verificare experimentală

Verificarea experimentală a calculelor prezentate în lucrare s-a făcut pentru un voltmetru de tensiune alternativă cu scară extinsă cu diode Zener, avînd domeniul de măsurare cuprins între $U_1' = 150$ V și $U_1'' = 250$ V. Caracteristica tensiune-curent a părții de circuit formată din dispozitivul de măsurare magneto-

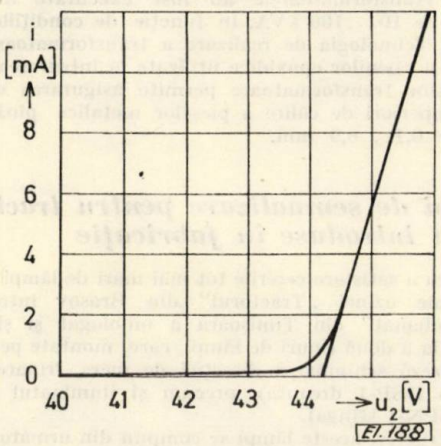


Fig. 7. Porțiunea din cadranul I a caracteristicii tensiunii-curent

electric (curent nominal $I_n = 10$ mA, rezistența interioară $R_i = 10\ \Omega$, scara cu $a_{max} = 100$ diviziuni), cinci diode Zener (tip *DZ* 309) și puntea redresoare, alcătuită din patru diode semiconductoare (tip *DR* 301), s-a determinat experimental. Porțiunii din cadranul I (fig. 7) a acestei caracteristici i-a corespuns o aproximare analitică prin două segmente de dreaptă, avînd ecuațile (2'), (2'') cu $U_0 = 44{,}2$V și $R_0 = 142\ \Omega$; din relațiile (20), (21) au rezultat $R_1 = 4830\Omega$ și $R_2 = 1270\ \Omega$.

Voltmetrul de tensiune alternativă realizat pe baza datelor de mai sus a avut scara caracterizată prin curba *2* din figura 8, față de scara calculată cu relația (11) și caracterizată prin curba *1*. Legînd rezistența $R_3 = 92\ \Omega$ în modul arătat în figura 5, s-a obținut scara caracterizată prin curba *3* din figura 8; se observă că

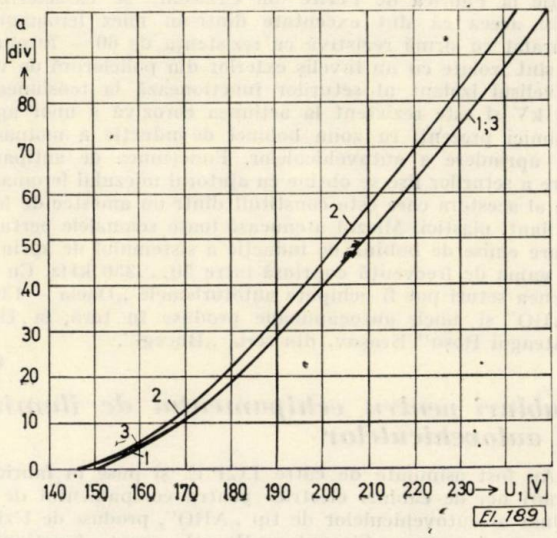


Fig. 8. Caracteristica scării unui voltmetru de tensiune alternativă avînd schema din figura 5

1 – curba calculată; *2* – curba determinată experimental fără rezistența R_3; *3* – curba determinată experimental cu rezistența R_3

în aceste condiții scara determinată experimental a corespuns aproape în întregime cu cea calculată.

Concluzii

Calculul voltmetrelor de tensiune alternativă cu scara extinsă la sfîrșit cu ajutorul diodelor Zener, prezentat în această lucrare, se bazează pe o aproximare analitică, prin două segmente de dreaptă, ale unei caracteristici tensiune-curent. Rezultatele calculului s-au folosit la studiul proprietăților specifice ale acestor voltmetre de tensiune alternativă, precum și la dimensionarea lor. Verificările experimentale au confirmat justețea și utilitatea practică a calculelor.

Bibliografie

[1] *Bessonov, L. A.* Nelineinie elektriceskie țepi. Vîsșaia școla, 1964, p. 62 – 59.

[2] *Eckhardt, G., Kurdal, G. Messlgleichrichter* Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1963, p. 98...100.

[3] *Millea, A., Popescu, R.* Aplicații ale diodelor Zener. Metrologia aplicată, vol. **10**, nr. 9, 1963 p. 402...411.

Intrat în redacție la 19.IX.1972

REALIZĂRI ALE INDUSTRIEI ROMÂNEȘTI

Noi produse

Seturi fișe de aprindere pentru antiparazitarea autovehiculelor

Seturile fișe de aprindere pentru antiparazitarea autovehiculelor, cu aprindere prin scînteie, realizate recent de I.C.P.E. sub formă de prototip și în curs de punere în fabricație la Fabrica de Ferite din Urziceni, se caracterizează prin aceea că sînt executate dintr-un miez feromagnetic spiralat cu sîrmă rezistivă cu rezistența de 60 — 70 ohm/m și sînt izolate cu un înveliș exterior din policlorură de vinil. Învelișul izolant al seturilor funcționează la tensiunea de 16 kV și este rezistent la acțiunea corozivă a unor agenți chimici prezenți în zona bobinei de inducție a motoarelor cu aprindere a autovehiculelor. Funcțiunea de antiparazitare a seturilor fișe se obține cu ajutorul miezului feromagnetic al acestora care este constituit dintr-un amestec de ferită și lianți plastici. Miezul atenuează toate semnalele perturbatoare emise de bobina de inducție a sistemului de aprindere în gama de frecvență cuprinsă între 50...350 kHz. Cu asemenea seturi pot fi echipate autoturismele „Dacia — 1300", „ARO" și unele autocamioane produse în țară, la Uzina „Steagul Roșu" Brașov, din seria „Bucegi".

C.C.

Cabluri pentru echipamentul de iluminat al autovehiculelor

Au fost asimilate de către I.C.P.E. și puse în fabricație tipuri noi de cabluri electrice pentru echipamentul de iluminat al autovehiculelor de tip „ARO", produse de Uzinele de autoturisme — Cîmpulung-Muscel, care funcționează în regim permanent și intermitent la tensiunea de 12 kV. Cablurile sînt izolate cu cauciuc sintetic de tip butilic, cu secțiunea de 2,5 — 4 mm² și permit o încărcare nominală de 3 — 10 A. Construcția cablurilor pentru echipamentul de iluminat al autovehiculelor este protejată etanș și se caracterizează prin aceea că permite montajul cablurilor pe partea interioară a șasiului autovehiculelor. Pentru eliminarea unor perturbații electromagnetice care se produc în sistemul de alimentare a cablurilor, construcția acestora este prevăzută cu un ecran de protecție format dintr-o țesătură de fire metalice.

C.C.

Tipuri noi de conductoare pentru linii aeriene de energie electrică din „aldrey"

Pentru liniile aeriene de transport a energiei electrice de 20 — 440 kV, au fost realizate de I.C.P.E. împreună cu I.M.N.R. și Institutul Politehnic-București, tipuri noi de aliaje și conductoare din aluminiu-magneziu-siliciu caracterizate prin aceea că în comparație cu tipurile actuale de linii din aluminiu sau oțel — aluminiu au o rezistență la tracțiune de 38 — 40 kgf/mm² (cu peste 50% mai mare) și o conductanță electrică de 30 — 31 μS/m. Rezistența la tracțiune mărită a noilor tipuri de linii aeriene în comparație cu cea a liniilor clasice de transport a energiei electrice permite o creștere substanțială a deschiderii dintre stîlpii de montaj ai liniilor și obținerea unei economii, la montajul liniilor, de peste 40.000 lei/km. Liniile aeriene din „aldrey" au secțiunea cuprinsă între 25 mm² și 1 000 mm², în funcție de încărcarea lor. Ele funcționează în condiții de siguranță deosebită deoarece rezistența lor mecanică este sporită și elimină pericolul ruperii acestora, în timpul iernii, din cauza chiciurii care se formează îndeosebi în zonele montane ale țării. Liniile electrice aeriene din „aldrey" funcționează de asemenea în condiții optime în zonele caracterizate prin corozivitate chimică mare (litoralul Mării Negre, în vecinătatea marilor combinate chimice și a întreprinderilor miniere) acolo unde tipurile clasice de linii din aluminiu și oțel-aluminiu se corodează și se rup frecvent.

Bobine electromagnetice înglobate în rășini epoxidice pentru instalația de frînare a noilor tramvaie de tip VA3

Au fost realizate recent, pe baza unor cercetări în cadrul I.C.P.E., tipuri de bobine electromagnetice înglobate în rășini epoxidice, destinate instalației de frînare a noilor tramvaie de tip VA3, care vor circula pe liniile de transport în comun din București și Timișoara. Bobinele electromagnetice înglobate în rășini epoxidice se caracterizează prin aceea că au o rigiditate dielectrică de peste 15 kV/mm, și o rezistență electrică de peste 2500 M/ohm la temperaturi de funcționare de 130°C. Ele se pot comporta bine la șocuri și trepidații și nu sînt afectate de acțiunea corozivă a agenților chimici. Experimentate în medii saline și climate tropicalizate, bobinele electromagnetice înglobate în rășini epoxidice au corespuns normelor internaționale CEI și VDE.

C.C.

Transformatoare cu izolații sintetice, utilizate la generatoarele pentru călirea cu curenți de înaltă frecvență

Pentru călirea pieselor metalice, utilizate în construcția mașinilor agricole produse de uzinele „Semănătoarea" București, au fost asimilate tipuri noi de transformatoare cu bobinaje integrate în rășini sintetice epoxidice cu rigiditate de peste 20 kV/mm, care alimentează generatoarele de înaltă frecvență pentru călirea acestor piese.

Integrarea bobinajului transformatoarelor s-a făcut într-o masă compactă de rășină cu grad ridicat de polimerizare, rezistentă la îmbătrînire termică pînă la temperatura de 180°C. Transformatoarele au fost executate într-o serie unitară de 10...100 kVA, în funcție de condițiile de călire impuse. Tehnologia de realizare a transformatoarelor și de turnare a rășinilor epoxidice utilizate la integrarea bobinajelor acestor transformatoare permite asigurarea unor parametri superiori de călire a pieselor metalice pînă la adîncimi de 0,1...0,9 mm.

C.C.

Lămpi de semnalizare pentru tractoare, recent introduse în fabricație

Pentru a satisface cererile tot mai mari de lămpi de semnalizare ale uzinei „Tractorul" din Brașov întreprinderea „Electrobanat" din Timișoara a omologat și și-a însușit fabricația a două tipuri de lămpi, care, montate pe tractoare, semnalizează schimbarea direcției de mers, frînarea și poziția (tip DSP-1 dreapta), precum și iluminatul numărului (tip DSPN-1 stînga).

Constructiv, aceste lămpi se compun din următoarele părți principale : un corp executat din material plastic și împărțit în două compartimente : unul pentru stop, poziție și număr, iar celălalt pentru semnalizare direcție ; subansamblu dispersor, din material plastic — roșu transparent, pentru compartimentul stop și poziție, și galben transparent pentru compartimentul semnalizare direcție montat întotdeauna spre exteriorul autovehiculului ; dispersor număr din material plastic transparent incolor ; garnitură amortizoare din cauciuc ; subansamblu dulie BA-15 d pentru compartimentul stop, poziție și număr ; subansamblu dulie BA15s, pentru compartimentul semnalizare direcție ; lampa cu incandescență monofazică, pentru compartimentul semnalizare direcție ; lampa cu incandescență bifazică, pentru compartimentul stop poziție (și număr la DSPN-1) ; conductori de conexiune prevăzuți cu fișă plată tip AMP.

Montarea acestor lămpi pe tractor se face, aparent, cu două șuruburi și piulițe M6, prevăzute cu șaibe Grower, iar punerea la masă, prin două lamele ce leagă duliile de șuru-

burile de fixare. Lămpile cu incandescenţă pot fi înlocuite numai după demontarea subansamblului dispersor.

Parametrii nominali ai acestor lămpi sînt tensiunea —12V; putere —21 W, pentru semnalizare direcţie, 21 W, pentru stop, 5W, pentru poziţie şi (număr la DSPN—1).

Condiţiile fotometrice pe care le asigură aceste lămpi se încadrează în prescripţiile Reg. CEE nr. 7 pentru compartimentul stop şi poziţie, în prescripţiile Reg. CEE nr. 6 categoria 2-a pentru compartimentul direcţie şi în prescripţiile Reg. CEE nr. 4 pentru placa număr de mărimea 340×340 mm pentru DSNP-1.

Lămpile cu incandescenţă utilizate sînt de tip P25-1, 12V/21 W, conform 3CEE TRANS/319 pentru semnalizare direcţie, cu soclu BA-15 s; de tip P25—2, 12 V/21×5W conf. CEE TRANS/319 pentru stop, poziţie şi număr, cu soclu BAY-15d.

Dimensiunile de gabarit: ~148×90×95 mm. În stare montată lămpile asigură gradul de protecţie IP 2.3.0. Greutatea lămpilor DSPN—1~0,404 kg/buc, şi~ 0,398 kg/buc. pentru DSP—1.

K.E.

ASFM — O nouă serie de motoare asincrone trifazate cu frînă electromecanică

Printre produsele de înaltă performanţă înscrise în actualul program de fabricaţie al Uzinei de maşini electrice din Bucureşti figurează şi seria motoarelor asincrone trifazate ASFM, destinate acţionării instalaţiilor de ridicat şi transportat. Aceste motoare, dotate cu frînă electromecanică în vederea frînării rotorului la întreruperea alimentării motorului cu energie electrică, sînt realizate într-o variată gamă de forme constructive normalizate, atît cu tălpi cît şi cu flanşă, gradul lor de protecţie corespunzînd potrivit publicaţiei CEI 34—5 din 1968, celui IP 54. Ventilaţia acestor motoare este asigurată de un ventilator exterior, plasat pe partea opusă a capului arborelui de acţionare, ventilator, protejat de o capotă comună cu a frînei electromecanice, pentru a evita a stfel atingerea lui accidentală. Datorită felului în care este executată, cutia de borne — comună înfăşurării motorului şi frînei electromecanice — permite alimentarea pe ambele părţi ale motorului. În mod curent această serie de motoare ASFM este fabricată de UMEB pentru tensiunile de 220/380V

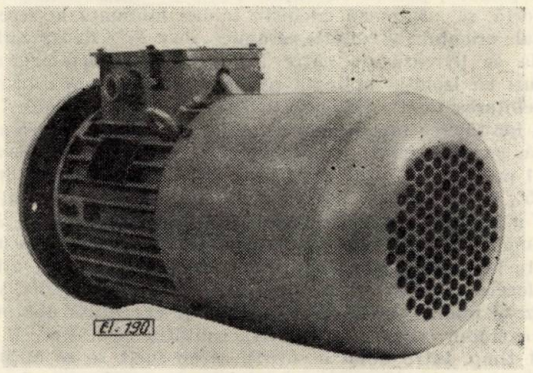


Fig. 1

şi 289/500 V la 50 Hz, dar, în cazurile în care beneficiarul solicită, ele pot fi executate şi pentru diverse tensiuni intermediare, ca şi pentru frecvenţa de 60 Hz. Frîna electromecanică care echipează motoarele ASFM este alimentată la tensiunea de 24 V curent continuu, tensiune obţinută prin redresare din circuitul de alimentare a motorului cu ajutorul unui bloc de redresare cu diode de siliciu.

Regimul nominal de funcţionare a acestor motoare este intermitent, cu perioadă de pornire RIP (conform STAS 1893—1965) definit prin conectări/oră, durata activă relativă DA = 40% şi factorul de inerţie FI = 3. Puterea lor acoperă o gamă de puteri cuprinsă între 0,25 kW şi 9 kW la 1500 rot/min.

K.E.

Noi tehnologii

O nouă metodă de verificare a calităţii izolaţiei tablei silicioase, aplicată la Uzinele Electroputere

În ultimul deceniu izolaţia tablei silicioase pentru motoare şi transformatoare a fost esenţial îmbunătăţită înlocuindu-se hîrtia, Wasserglas-ul, lacurile organice etc. şi impunîndu-se autoritar lacurile noi, mai rezistente mecanic, cu bună aderenţă pe metal şi stabile la temperaturi înalte. Pentru izolarea tablei silicioase de transformatoare se foloseşte aproape exclusiv izolaţia ceramică de tip carlyte. Se constată însă că unele firme producătoare de tablă silicioasă nu aplică suficient de îngrijit stratul de lac (izolarea tablei se face de către întreprinderile metalurgice producătoare de tablă silicioasă). Metodele de verificare uzuale, prin măsurarea rezistenţei ohmice a unui pachet de tole de anumite dimensiuni, nu dau o imagine corectă a calităţii stratului de izolaţie, deoarece prin aceasta se verifică numai izolaţia în ansamblu şi nu se depistează defectele locale.

Pentru verificarea calităţii stratului izolant, depistarea defectelor locale şi excluderea din consum a loturilor de tablă silicioasă, cu astfel de defecte, la uzinele Electroputere din Craiova, a fost introdus controlul prin sondaj al rigidităţii dielectrice a izolaţiei. Tola este presată pe masa de lucru (fig. 1) de un cilindru metalic în greutate de 1000 gr., avînd baza Ø 50 mm, şlefuită şi bine curăţată. Între tolă şi cilindru, deci deasupra stratului izolant, se aplică, cu ajutorul unui potenţiometru o tensiune care poate fi crescută de la 0 la 220 V. Un voltmetru indică tensiunea la care are loc străpungerea izolaţiei. Verificarea se face în mai multe puncte pe fiecare eşantion. Existenţa unor zone fără izolaţie sau cu o izolaţie foarte slabă este imediat depistată, deoarece străpungerea are loc la valori sub 10 V. Se consideră bună izolaţia care în toate punctele are tensiuni de străpungere de peste 50 V. Ca excepţie se poate admite folosirea tablei la care în mod accidental, însă nu la mai mult de un punct de eşantion, tensiunea e străpungere este sub 50 V, dar mai mare de 30 V.

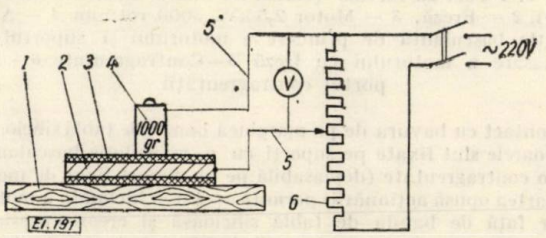


Fig. 1. Schema instalaţiei pentru încercarea la străpungere a izolaţiei tablei silicioase laminată la rece:

1—masa de lucru; (material izolant); *2*—tola de tablă silicioasă; *3*—izolaţia tolei (stratul care se verifică); *4*—cilindru metalic pentru presare; *5*—conductoare flexibile izolate; *6*—reostat.

Aplicarea acestei metode a permis depistarea sigură a loturilor de tablă cu defecte de izolaţie, precum şi aprecierea calitativă comparativă a izolaţiei diverselor loturi de tablă, după valorile tensiunii de străpungere şi după constanta sau dispersia acestor valori în diverse puncte ale tablei.

Ing. *M. Liculescu*

Metodă de reducere a pierderilor în miezurile transformatoarelor de forță, aplicată la Uzinele Electroputere

În prezent, pentru execuția miezurilor transformatoarelor de forță se utilizează exclusiv tabla laminată la rece, cu cristale orientate și izolație ceramică, de regulă de tip carlyte. Tabla se livrează de către întreprinderile metalurgice în rulouri cu izolația aplicată pe ambele laturi ale tablei.

Debitarea tablei silicioase în benzi se face pe foarfeci cu role, iar tăierea în lungime-pe mașini automate. Acestea din urmă, execută retezarea la lungimea dorită (cu precizie de $\pm 0{,}1$ mm/m) dintr-o singură trecere a tablei în unghi drept, la 45°, sau la altă valoare a unghiului, precum și ștanțarea în V a tolelor de la jug, retezarea colțurilor de la tolele tăiate în unghi etc. Pentru micșorarea pierderilor suplimentare create la prelucrare, este deosebit de important, ca atît la foarfecele cu role cît și la mașinile de tăiat în lungime, să se utilizeze numai cuțite bine ascuțite și executate din material extradur (pentru a-și păstra calitățile de tăiere cît mai mult timp, între două ascuțiri), astfel încît să se obțină o ecruisare minimală a materialului în zona tăieturii. Se constată însă, chiar în condițiile acestea, că la marginea tolelor apar bavuri care scurtcircuitează pachetele de tole și măresc pierderile în miezuri, uneori cu valori pînă la 10%. Vechea metodă de debavurare pe mașini cu discuri abrazive (utilizată în trecut pentru tolele din tablă laminată la cald, la care izolarea Φ se făcea după debitare și debavurare) nu mai poate fi aplicată în cazul tolelor din tablă laminată la rece, deoarece ar deteriora izolația acestora. Fabricile constructoare de transformatoare au încercat diverse metode de debavurare între care presarea bavurilor pe mașini cu role care calcă marginea tolei, șeveruirea manuală, răzuirea mecanică a bavurilor cu cuțite tip rolă etc., dar nici una din aceste metode nu a dat satisfacție totală. La Uzina Electroputere din Craiova a fost experimentată și introdusă în fabricație metoda frezării bavurilor, cu ajutorul a două freze instalate la mașina automată de tăiat tabla silicioasă în lungime. Frezele au număr mare de dinți tăietori, sînt așezate înclinat față de tola în mișcare și acționate de două motoare de 0,25 kW, 3000 rot/min. Motorașele, pe axele cărora sînt montate frezele, pot fi deplasate (sus-jos și dreapta-stînga, fig. 1) astfel încît, frezele să vină

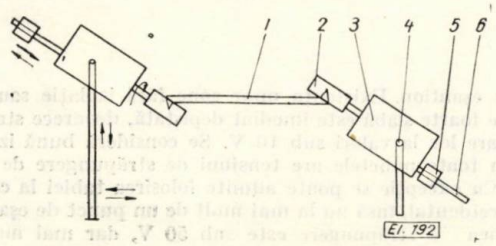


Fig. 1. *1*-Tola cu bavuri (banda de tablă silicioasă în mișcare), *2* — Freză, *3* — Motor 2,5 kW, 3000 rot/min *4* — Articulația basculantă de prindere a motorului și suportul de deplasare a motorului cu freză *5*—Contragreutate *6*— Suportul contragreutății

în contact cu bavura de pe marginea benzii de tablă silicioasă. Motoarele sînt fixate pe suporți cu o articulație basculantă, iar o contragreutate (deplasabilă pe un suport fixat de motor în partea opusă acționării) permite așezarea înclinată a motoarelor față de banda de tablă silicioasă și crearea presiunii necesare pentru frezarea bavurii, indiferent dacă aceasta se găsește în partea superioară sau inferioară a tablei. Motoarele cu freze sînt acționate pe toată perioada, cît banda de tablă silicioasă se deplasează în mașină și sînt decuplate automat în cazul opririi benzii. Este important ca în zona în care se face debavurarea, banda de tablă silicioasă să fie relativ stabilită în mișcare, fără vibrații, în care scop marginile benzii sînt trecute prin șlițuri de ghidare. Acest sistem permite o debavurare practic perfectă a laturilor lungi ale tolelor, rămînînd ca pentru laturile scurte să se dea o atenție deosebită calității muchiilor tăietoare și materialului cuțitelor de la mașinile automate de tăiat în lungime, astfel încît să se obțină tole, practic, fără bravuri.

Recoacerea tablei silicioase laminată la rece se poate face în cuptoare staționare (se aplică la unități mici, cum e cazul transformatoarelor de măsură) sau în cuptoare tunel cu bandă rulantă (soluție generalizată pentru transformatoarele de forță). Experimentările făcute pentru a obține reducerea maximală a pierderilor au arătat că, în cuptoarele tunel temperatura de recoacere trebuie să fie între 780°C și 820°C viteza de deplasare a tolelor alegîndu-se în funcție de lungimea cuptorului (cu cît cuptorul este mai lung cu atît se poate practica o viteză mai mare). Pe eșantioane de tablă, luate din diverse laturi, s-au făcut măsurători înainte și după recoacere, utilizînd aparatul Epstein și, în condiții optimale de recoacere, identice pentru toate loturile, s-au obținut reduceri ale pierderilor specifice la 1,5 T între 6% și 20%, media valorilor pe loturile măsurate fiind de 12%. Prin măsurătorile efectuate s-a constatat o dispersie mare a valorilor pierderilor specifice la tabla nerecoaptă, plaja restrîngîndu-se după recoacere, fapt explicabil prin existența unui grad de ecruisare diferit al baloturilor (rulourilor) de tablă silicioasă în starea de livrare (nerecoapte).

Unele firme producătoare de transformatoare, din motive de productivitate, nu recoc tolele finite, ci benzile înainte de debitarea în lungime. Acest procedeu reduce manopera de recoacere (simplifică deservirea cuptoarelor de recopt) dar, datorită faptului că tăierea în lungime, pe mașinile automate, are loc după recoacere, se produce o oarecare ecruisare a tolelor, datorită trecerii prin mașină și tăieturilor ce se execută pe această mașină și deci o majorare a pierderilor specifice. Din aceste motive la Electroputere Craiova a fost adoptat procedeul recoacerii tolelor finite. Preocupările de viitor trebuie să fie îndreptate spre automatizarea alimentării cu tole a cuptoarelor de recopt, urmînd a se face în continuare recoacerea tolelor finite, ca metodă care conduce la micșorarea maximă a pierderilor.

Impachetarea miezurilor din tole cu cristale orientate, s-a generalizat în varianta cu îmbinări la 45°, obținîndu-se astfel o reducere substanțială a pierderilor în zona de îmbinare. Pierderile specifice în tabla silicioasă laminată la rece, la inducția de 1,5 T, în cazul unui flux perpendicular pe direcția de laminare sînt de peste 3 ori mai mari decît în cazul unui flux longitudinal, în direcția laminării.

Prin împachetarea la 45° se păstrează direcția fluxului în lungul laminării tablei și în zonele de țesere ale miezului, ceea ce, așa cum au arătat experimentările, conduce la o reducere medie a pierderilor în miez de 12%, comparativ cu împachetarea din tole tăiate la 90°. Dacă pentru coloanele laterale, îmbinarea cu jugurile în unghi de 45°, se asigură fără pierderi de material, la debitarea tolelor de la coloane și juguri, apariția unor astfel de pierderi sub formă de deșeuri (de la ștanțarea în V a tolelor jug și de la scurtarea vîrfurilor tolelor coloană) în cazul îmbinării coloanei de la mijloc sub unghi de 45° pune problema stabilirii modulul celui mai eficient de îmbinare la această coloană a miezului. La Uzina Electroputere din Craiova s-au experimentat astfel trei metode de îmbinare a coloanei de mijloc:

- îmbinare la 90° (fig. 2);
- îmbinare, jumătate, la 45° (fig. 3);
- îmbinare, completă, la 45° (fig. 4).

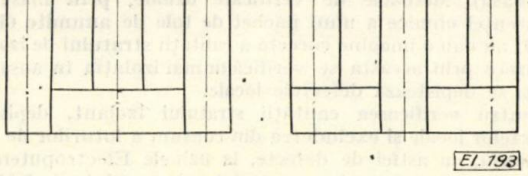


Fig. 2

Îmbinarea la 90° ca și îmbinarea jumătate la 45° se realizează din tole debitate fără pierderi de material, îmbinarea complet la 45° conducînd la deșeuri de tablă silicioasă de la debitare în volum de cca 4% din greutatea miezului. În schimb, față de îmbinarea completă la 45°, pierderile în fier sînt mai

mari cu cca 4% la îmbinarea la 90° și cu cca 2% la îmbinarea jumătate la 45°. Rezultă clar că îmbinarea la 90° a coloanei de mijloc cu jugul este net dezavantajoasă, în prezent utilizîn-

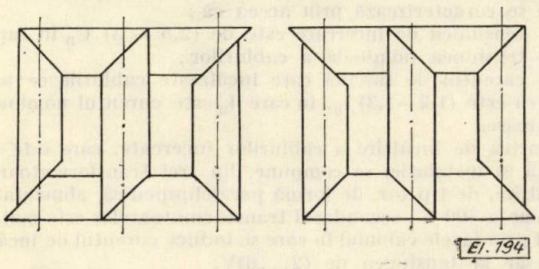


Fig. 3

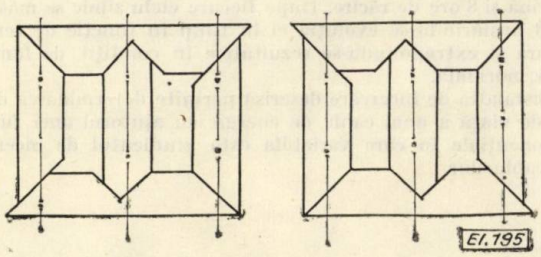


Fig. 4

du-se numai celelalte două tipuri de îmbinări. Calculul tehnico-economic pentru un transformator de distribuție de 250 kVA cu înfășurări de aluminiu arată că, în varianta îmbinării coloanei de mijloc a miezului complet la 45°, pierderile sînt mai mici cu 14 W, în timp ce în varianta îmbinării acestei coloane jumătate la 45°, consumul de tablă silicioasă este mai mic cu 19 kg. În prețuri internaționale, pierderile de 14 W capitalizate și scăzute din prețul transformatorului reprezintă cca jumătate din valoarea economiei de tablă silicioasă, ceea ce arată că soluția îmbinării coloanei de mijloc jumătate la 45° este net avantajoasă.

Rezultă deci, că în viitor construcțiile trebuie orientate pe varianta îmbinării coloanei de mijloc, jumătate la 45°, obținîndu-se astfel importante economii de tablă silicioasă precum și simplificarea utilajului de tăiere a tablei (nu mai este necesară ștanțarea în V a tolelor de la juguri și tăierea vîrfurilor la tolele coloanei de mijloc).

Ing. *M. Liculescu*

O nouă tehnologie pentru execuția benzilor electroizolante de fretare pentru industria electrotehnică

A fost elaborată recent de către ICPE-București o nouă tehnologie pentru execuția benzilor de fretare din fire poliesterice indigene destinată rotoarelor mașinilor electrice pentru gama de puteri de 10...100 kW care se produc la Uzina de Mașini Electrice București, Uzina de Mașini Electrice Timișoara și Uzina „Electroprecizia"— Săcele. Noul procedeu tehnologic elimină complet importul unor benzi de fretare străine și asigură o calitate comparabilă cu cea a produselor echivalente produse în alte țări. Procedeul tehnologic elaborat se caracterizează prin aceea că permite ridicarea clasei de izolație a mașinilor electrice, elimină pierderile tehnologice din fire poliesterice și liant, prin prelucrarea lor la temperatura de polimerizare care se situează în jurul valorii de 120... ...135°C.

Benzile de contracție, în concepția constructivă și tehnologică menționate au fost realizate pe o instalație pilot la ICPE -București și urmează a fi fabricate în serie în cadrul Grupului Industrial de Materiale Electrotehnice București. Noua tehnologie a benzilor de fretare pentru industria electrotehnică conferă acestora o competitivitate tehnică și economică superioară în comparație cu produsele similare realizate în alte țări.

Pentru realizarea acestor benzi I.C.P.E. a proiectat, după o concepție originală, și a executat o instalație industrială de mare productivitate care a fost montată și pusă în funcțiune la F.C.M.E.-București.

C.C.

Instalație tehnologică pentru spiralizarea miezurilor feromagnetice ale seturilor fișe de aprindere pentru antiparazitarea autovehiculelor

Pentru spiralizarea miezurilor feromagnetice ale seturilor fișe de aprindere și de antiparazitare a autovehiculelor a fost concepută și executată integral în I.C.P.E. prin autoutilare, o instalație tehnologică de mare productivitate. Instalația se caracterizează prin aceea că :

— are o productivitate de spiralizare de peste 5km/8 ore ;

— permite o etalare completă a spirelor cu un pas de 0,12 mm ;

— în procesul de antiparazitare asigură o atenuare de circa (30—250) dB/m.

Realizarea în țară a unor asemenea instalații mărește gradul de integrare a fabricației seturilor fișe de aprindere și de antiparazitarea autovehiculelor, creează condițiile trecerii la fabricația în flux tehnologic cu ritm continuu, al seturilor și o calitate superioară a aplicării firelor de oțel spiralizat peste miezurile feromagnetice. În comparație cu alte instalații similare, mașina de spiralizare realizată de I.C.P.E. posedă în plus particularitatea mecanizării complete a operațiilor de extrudare și înrolare a miezurilor feromagnetice.

C.C.

Instalație pentru turnarea sub vid a rășinilor, realizată de I.C.P.E.

Este cunoscut avîntul pe care l-a luat utilizarea rășinilor poliesterice pentru înglobarea unor piese, componente sau ansambluri cu rol electrotehnic într-o masă izolantă care să-i confere o mare rigiditate dielectrică.

Instalația de turnare sub vid se compune din recipiente pentru : cuarț, rășină, dozare rășină, preamestec, dozare

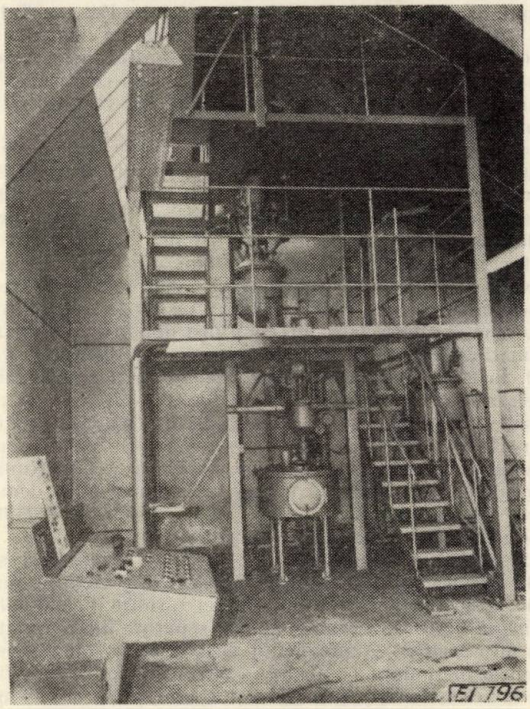


Fig. 1

amestec, amestec final, întăritor turnare precum și pompele de vid corespunzătoare PVP 20 (tip IFA). Preamestecul se dozează prin intermediul recipientului dozare-amestec ;

funcţie de cantitatea de preamestec, se dozează întăritorul din recipientul întăritor, în recipientul de amestec final. Din recipientul de amestec final, amestecul este golit în recipientul de turnare, unde presele de impregnat se dispun radial. Se pot îngloba în răşini următoarele : electromagneţi normali şi speciali, izolatoare de înaltă tensiune, piese de prindere cu rol mixt (mecanic-electric), bobine polare, bobine pentru lămpi fluorescente, transformatoare mici, diverse piese cu izolaţii sporite.

Dintre caracteristicile mai importante menţionăm :
— capacitate 100—200 kg/pe două schimburi;
— dimensiuni de gabarit 3400×3400×6700 mm;
— greutate totală 25 tf;
— comandă semiautomată.

Instalaţia realizată în concepţie proprie la I.C.P.E. a fost executată pentru unităţi industriale care abordează acest profil.

Fl. T.

Instalaţie de îmbătrînire accelerată sub sarcină a cablurilor electrice de energie de 1—10 kV

Pentru a verifica condiţiile în care se produce îmbătrînirea naturală a cablurilor sub acţiunea concomitentă a cîmpului electric şi curentului de încărcare care încălzeşte cablurile montate în reţele electrice, a fost concepută şi realizată în ICPE o instalaţie de îmbătrînire accelerată a cablurilor care reproduce condiţiile lor reale de funcţionare, dar într-un timp scurt, prin mărirea intensităţii cîmpului electric şi a curentului de încărcare. În acest scop, instalaţia de îmbătrînire se caracterizează prin aceea că :

— tensiunea de încercare este de (2,5 — 3) U_n în care U_n este tensiunea nominală a cablurilor;

— curentul de sarcină care încălzeşte cablurile ce se încearcă este (1,2—1,3) I_n, în care I_n este curentul nominal de încărcare.

Partea de încălzire a cablurilor încercate, care este integrată în instalaţie, se compune din trei transformatoare de încălzire, de tip tor, de formă paralelipipedică, alimentate în primar la 500 V ; secundarul transformatoarelor este materializat prin fazele cablului în care se induce curentul de încălzire necesar la tensiunea de (2...6)V.

Încercarea la îmbătrînire accelerată a cablurilor se face pe o durată de 10...15 zile în cicluri zilnice de 16 ore sub sarcină şi 8 ore de răcire. După fiecare ciclu zilnic se măsoară tg δ urmărindu-se evoluţia ei în timp în funcţie de temperatură şi extrapolîndu-se rezultatele în condiţii de funcţionare normală.

Instalaţia de încercare descrisă permite determinarea duratei de viaţă a unui cablu de energie cu ajutorul unei funcţii exponenţiale în care variabila este gradientul de încercare al cablurilor.

C.C.

NOI MATERIALE DOCUMENTARE

Dicţionarul de termeni tehnici

Bucureşti, Ed. Tehnică, 1973.

Dicţionarul de termeni tehnici elaborat, sub conducerea profesorului Radu Ţiţeica, de către un colectiv de ingineri (Carol Neuman, prof. Edmond Nicolau, prof. Aurel Pîrvu şi conf. Dumitru Tocan), apărut recent în Editura Tehnică din Bucureşti, vine să completeze, într-un anumit sens, marile dicţionare tehnice întocmite (în cadrul fostei Asociaţii a Inginerilor din România), în principal, sub conducerea Academicianului Remus Răduleţ, de către un vast colectiv de ingineri şi oameni de ştiinţă.

Noul dicţionar se prezintă într-un singur volum de 864 pagini, tratînd totuşi circa 16 000 de termeni. Apare evidentă intenţia colectivului de autori şi a editurii de a pune la îndemîna unor largi categorii de beneficiari un instrument pentru explicarea succintă a termenilor uzuali, folosiţi într-o serie de discipline tehnice. Volumul restrîns impunea o renunţare la explicaţii şi definiţii riguroase, şi o concentrare pe esenţial şi pe un vocabular curent utilizat de către practicieni.

Sarcina asumată de autori nu a fost de loc uşoară, cu toate că, marile dicţionare publicate anterior puteau servi ca un ghid. În fapt restricţiile impuse obligau la refondarea fişelor de termeni şi la o armonizare a lor. Scopul *fixat* se poate considera atins în mare, astfel că tehnicienii şi inginerii din industrie vor putea beneficia de avantajele unei informări succinte şi rapide asupra înţelesului cuvintelor. Numeroşi termeni au fost perfect caracterizaţi, mai ales în domeniul fizicii, electronicii, ciberneticii, deci, tocmai în disciplinele ce se află într-o dinamică evoluţie.

Există, evident, şi lipsuri. Să luăm în discuţie, pe scurt, unele din dificultăţile întîlnite, unele din rezolvările date şi unele lipsuri ce s-au relevat dintr-o răsfoire a volumului.

Cuvintele generice s-au explicat separat, fiind urmate de termeni specifici, compuşi din acel generic şi un adjectiv. În unele dicţionare compacte, toate accepţiunile specifice se trec la acelaşi cuvînt generic. Soluţia adoptată are avantajul că se caută şi se găseşte mai repede termenul specific.

Astfel, la pagina 79, genericul *baterie* este urmat de o pleadă de termeni specifici, caracterizaţi prin adjectivele heterogene: anodică, de acumulatoare, de căldări, de încălzire, de robinete, electrică, solară. Se pune involuntar întrebarea dacă au fost prinse toate accepţiunile? În limbajul curent mai avem bateria de buzunar, cea telefonică şi, mai recent introdusă, dar foarte populară, bateria pentru aparate tranzistorizate. Evident, autorii nu sînt obligaţi să ia în considerare toate variantele, totuşi, rămîne o îndoială relativă la justa selecţie. La genericul *maşină*, existînd 30 de termeni specifici (p. 482 — 484), o analiză cere un efort prea mare şi trebuie să ne mulţumim cu selecţia făcută tale — quale.

Cînd termenul generic are *două accepţiuni*, apar dificultăţile şi mai mari. Astfel, la pagina 316, avem *filtru* 1 (fig.) optic şi 2 (tehnic) pentru lichide şi gaze, iar cu adăugarea unor adjective încă 16 termeni specifici. Dar, termenul generic *filtru* are în electrotehnică o a treia accepţiune diferită ca element de circuit, aşa cum se poate constata la cuvintele specifice *filtru de antenă*, *filtru trece bandă* (elt. telc.) etc.

Aci trebuie să relevăm o eroare la accepţiunea a doua a termenului *filtru electric* (tehn.) pagina 316, unde se spune textual „Dispozitiv alcătuit din două plăci metalice paralele, între care o diferenţă de potenţial separă, prin precipitare pe una dintre plăci, pulberile conţinute într-un gaz (= Electrofiltru)". Trebuie să conchidem că autorul acestei fişe nu a văzut nici un filtru electric în concret, cu toate că ele se fabrică în ţară, dar nici nu-şi dă seama de felul cum funcţionează un astfel de filtru. Într-adevăr precipitarea pe placă sau pe plăci, toate legate la polul pozitiv, a unei surse de curent continuu de înaltă tensiune, se face prin ionizarea negativă a particulelor în suspensie, de către electrozi filiformi sau sub formă de bare subţiri cu vîrfuri ascuţite, care se „coronizează" şi emit efluvii electrice. Deci, nici vorbă nu poate fi de două plăci, între care să existe o diferenţă de potenţial, deoarece chiar la tensiuni foarte mari o placă nu poate ioniza gazul din faţa sa la distanţe de ordinul metrilor, ceea ce poate un fir coronizat. Filtrele electrice funcţionează puternic coronizate, adică la limita la care între electrozi poate să apară un arc electric.

Invităm autorii şi editura să rectifice eroarea la o eventuală a doua ediţie.

Omonimele mai pot produce dificultăţi mai ales dacă ele apar în acelaşi domeniu. Astfel, la pagina 131, aflăm cu surprindere că termenul *cart* (nav.) are două accepţiuni : prima, a 32-a parte din roza vînturilor, respectiv $11^1/4$ grade, mai puţin cunoscută, şi a doua — serviciul de patru ore al

personalului de supraveghere a navei. Tot așa, la pagina 143 *centură* 1. (cf) sistem de linii de cale ferată înconjurînd un oraș și 2. (constr.) grindă de beton simplu sau slab armat care se reazemă pe întreaga zidărie exterioară a unei construcții orizontale, spre a lega zidurile între ele.

În acest sens reamintim că la trecerea pe calculator a unui vocabular omonimele nu pot fi introduse decît cu o singură accepțiune, deoarece calculatorul nu poate fi instruit să facă vreo diferență între două accepțiuni. Astfel termenul *broască* (zoologie) apare în dicționar, la pagina 97, în tehnică avînd caracterizarea : dispozitiv metalic folosit pentru închiderea și încuierea unei uși, a unui sertar etc. În același timp în petrol și gaze apare *broască cu pene*, un dispozitiv așezat la gura sondei pentru a ține suspendate burlanele pentru tubaj sau țevile de extracție.

O inadvertență am descoperit la termenul *gradient* (fiz), pagina 367, care se definește „cît dintre variația unei mărimi și cea a altei mărimi de care depinde prima". Cuvîntul provine din limba engleză unde înseamnă pantă, creștere, mai ușor de înțeles. Decît că într-un punct pe o pantă gradientul se ia pe direcția pe care panta este maximă : s-ar fi cerut o definire cu o formulă matematică sau cu o reprezentare geometrică. De menționat că, operatorii diferențiali conecși : *divergență* și *rotor* nu apar în dicționar. Probabil au fost socotiți de prea înalt nivel.

O lipsă apare la termenul *înfășurarea electrică* (elt.) pagina 422, definit incomplet : ansamblu de spire conductoare, care fac parte dintr-un circuit al unui aparat. Trebuie scris : spire conductoare *izolate*, deoarece altfel înfășurarea ar putea produce scurtcircuite.

La termenul generic *sistem*, pagina 716, urmat de 47 de termeni specifici (ceea ce a produs probabil dureri de cap autorilor) apare și termenul *sistem alternativ trifazat simetric*, în care ultimul adjectiv ar putea lipsi, deoarece el adîncește nivelul ierarhic cu încă o treaptă și lasă în afara dicționarului sistemele asimetrice, singurele care apar de fapt în practică.

În ce privește *termenii străini*, atitudinea autorilor apare diferită. Astfel, se adoptă *dispecer* (tehn.), pagina 254, organ care controlează și reglementează (oare este bine așa ?) permanent un proces tehnic...Tot acolo se adaogă „În prezent funcționează și dispecerate regionale... Intrebare : oare dispecerat nu merită un termen separat ? Nu s-a adoptat însă un alt termen introdus azi în special în tehnica de calcul : implementare (implîntare) preluat din limba engleză și autohtonizat ușor însemnînd instalare + punere în funcțiune.

Apreciem în schimb poziții cu unele recomandări ale autorilor de a elimina din metalurgie și tîmplărie unele cuvinte germane, ca *ghivent*, pagina 361, de la care se trimite la *filet*. ca și de la *știft*, pagina 762, la *spin* (din botanică), pagina 728, pentru a denumi o tijă metalică cilindrică sau conică. Sau de la *durcisare* (metalurgie) se trimite la *durificare* a stratului superficial de metal.

În schimb autorii mai scriu unghi de defazaj (fiz.), la pagina 829, în loc de defazare, cum s-a hotărît de mult de către Academia Română.

Mai trebuie să fie luate în considerație și *STAS-urile de terminologie*. În materie de aparate de întrerupere termenul just este *întreruptor*, cum se admite în dicționar, la pagina 426, numai pentru domeniul tehnicii, pe cînd pentru cel al electrotehnicii se scrie (la accepțiunea a doua) greșit *întrerupător electric*. Lasă că descrierea care urmează este cît se poate de necorespunzătoare. Dar ea conține explicația „Se deosebesc întreruptoare :...fără, ceea ce ne face să credem, că în titlul fișei această literă s-a furișat printr-o greșeală de dactilografie, cu atît mai mult cu cît la termenul *disjunctor* (elt.) pagina 254, se explică „Intreruptor cu declanșare"... În general consultarea standardelor de terminologie la stabilirea cărora au lucrat mari colective din producție, cercetare și învățămînt ar fi evitat numeroase inadvertențe în dicționar.

Cu această ocazie s-ar fi aflat despre întreruptoarele de putere de înaltă tensiune cu ulei puțin, cu aer comprimat, cu hexafluorură de sulf și cu vid, din care unele se fabrică la uzina Electroputere Craiova.

Cuvinte bune trebuie să avem pentru *figuri*, executate, în general, ireproșabil. Excepțional de intuitivă îmi pare planșa 86, la pagina 653, reprezentînd o reacție de fisiune în lanț. Perfectă reprezentarea sistemului periodic al elementelor la pagina 724. Dar nu înțeleg de ce s-a ales pentru planșe numerotarea latină, care pentru numere atît de mari este totuși greoaie ?

Cîteva tabele, presărate în text, contribuie, de asemenea, la explicitarea unor relații complicate ca de exemplu : clasificarea formațiilor scoarței terestre după Gh. Macovei, la pag. 164 — 167.

Critica adusă aici o vrem constructivă atît pentru autori cît și pentru cititori. În mod natural, ceea ce este bine sau perfect prezentat nu s-a comentat în mod deosebit. In era societății socialiste multilateral dezvoltate stacheta se ridică din ce în ce mai sus, iar autorii și editorii trebuie să fie pregătiți să corespundă unor exigențe din ce în ce mai ridicate ale cititorilor.

În concluzie sînt convins că dicționarul de termeni tehnici, chiar cu unele lipsuri, va îndeplini un rol important la un nivel la care numărul beneficiarilor este foarte mare.

Urez succes acestei opere.

Acad. Aurel Avramescu

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

Manifestări științifice internaționale în a doua jumătate a anului 1973

În rîndul căilor de informare, manifestările științifice și tehnice ocupă un loc de frunte. Dintre ele, cele de tipul conferințelor, congreselor, simpozioanelor, seminariilor sînt tot mai cunoscute. Realizările revoluției tehnico-științifice mondiale determină noi și noi teme abordabile, fapt ce mărește numărul acestora comportînd, totodată, numeroase avantaje : mesajul științific comunicat este, de regulă, din cele mai recente, întrucît specialiștii de aceeași profesie, sau din același domeniu de activitate nu-și pun în joc prestigiul, abordînd probleme perimate ; participarea masivă la acestea a unor persoane cu multă competență facilitează, un larg schimb de opinii, a căror confruntare inevitabilă — rezolvă anumite erori ceea ce nu este posibil în cazul mesajului scris), înlesnind îmbunătățirea substanțială a cazului în speță etc.

Anual au loc peste 2000 de manifestări științifice mondiale și naționale cu participare tot mai mare, vehiculînd o imensă masă de cunoștințe. Majoritatea acestora se difuzează și pe calea scrisului, tipărîndu-se volumul conținînd referate, sau rezumate ale lucrărilor susținute. Este, deci, evident că informarea prin manifestări științifice constituie unul din mijloacele eficiente de propagare a noutăților științifice și tehnice contemporane.

Lista de față cuprinde titlurile manifestărilor ce vor avea loc în a doua jumătate a anului 1973 în domeniul electrotehnicii, în domenii înrudite și cu caracter general, pentru fiecare temă dîndu-se patru indicații mai importante : data la care are loc manifestarea, locul, titlul și genul precum și organizatorul. Întrucît datele și locul unde se vor desfășura nu sînt întotdeauna certe sau complet precizate, precum și pentru că unele manifestări anunțate nu mai au loc, din diferite motive, rugăm pe cititorii noștri ca înainte de a întreprinde acțiuni legate de participare, să ia legătura cu organizatorul, la adresa menționată în ultima rubrică.

Specialiștii, care nu pot participa la manifestările semnalate, au totuși posibilitatea de a afla date în legătură cu acestea din lucrările publicate de diferite edituri, despre care se vor obține indicații tot de la organizator.

Data	Locul	Titlul manifestării	Organizatorul
4—8 iunie 1973	Rotterdam Olanda	Al 5-lea Congres al Asociației Internaționale de ergonomie	Holland Organizing Centre, 16, Lange Voorhout, The Hague, Olanda
12—15 iunie 1973	Relgrad Jugoslavia	A 17-a conferință anuală a Organizației europene de control al calității	Jugoslovenski savez organizavija za una predenje kvaliteta i pouzdanosti, 11000 Beograd, Kneza Milosa 9—11, Jugoslavija tel. 335—515
12—15 iunie 1973	Haga Olanda	Al 3-lea simpozion IFAC în problemele identificării și estimării parametrilor sistemelor	IFAC—1973 c/o K1v1, 23 Prinsessegracht, the Hague, Olanda.
17—21 iunie 1973	Mineapolis SUA	A 60-a conferință a societății specialiștilor în galvanizare, din America	AES, 56 Melmore Cardens, East Crange, N.Y. 07017, SUA
24—28 iunie 1973	Jerusalim Israel	A 20-a reuniune internațională „Științele conducerii, țărilor în curs de dezvoltare și priorități naționale"	Institute of Management Sciences, Box 6112, Providence, R.I. 02919, S.U.A.
24—29 iunie 1973	Philadelphia SUA	A 76-a reuniune anuală și a 21-a expoziție de încercări de materiale a ASTM	ASTM, 1916, Race St., Philadelphia, Pa., 19103, SU
10—12 iunie 1973	San Francisco SUA	Simpozionul de compatibilitate electromagnetică	IEEE, Technical Activities Board, 345 East 47 th Street, New York, N.Y. 10017, SUA
iulie 1973	Cardiff Anglia	Simpozionul și expoziția ATMEX-Progrese în tehnica măsurării în industrie	University of Wales, Institute of Science and Technology Cathays Park, Cardiff, Wales, Anglia
August 1973	Bruxelles Belgia	Adunarea generală și congresul Institutului internațional de studiu și cercetare în domeniul competiției comerciale	Rue de Mot 24—26, 1040 Bruxelles, Belgia
3—7 sept. 1973	Londra Anglia	Al 3-lea congres mondial al Asociației internaționale de relații industriale cu tema „Tendințe viitoare în relațiile industriale"	154, rue de Lausanne, 1211, Geneva, 22 Elveția
16—19 sept. 1973	St. Louis SUA	Conferința asupra vibrațiilor	A.B.Conlin, Jr. 345 47th St, New York, N.Y, 10021, SUA
16—21 Sept. 1973	Cambridge Anglia	Al 5-lea simpozion internațional asupra cercetării fundamentale	Tech, Section, BPBMA Plough Place, Fetter Lane, London, EC4A, IAL, Anglia
30 oct.— —4 sept.1973	Chicago SUA	Conferința tehnică de electroizolație	IEEE Inc. Technical Activities Board, 345E 47th Street, New York N.Y. 10017 SUA
1—3 oct. 1973	Toronto Canada	Conferința și expoziția internațională de electrotehnică și electronică	A. J. Dinnin, Chmn, Toronto Sec, c/o Bell Telephone Labs, Rm 402, 393 University Ave, Toronto, Canada
25—26 oct. 1973	Detroit SUA	Conferința de tehnică a activității de conducere	IEEE, Inc. Technical Activities Board 345 East 47th Street. New York, NY 10017, SUA
oct. 1973	Zagreb Jugoslavia	Conferința internațională pentru cablurile de forță	Jugoslovenski nacionalni Komitet mejdunarodne konference za velike elektricne mreze, CIGRE 41000 Zagreb, Berislaviceva 6/1, Jugoslavija, tel. 445—718
5—7 nov. 1973	Boston SUA	Conferința cu tema „Sistemele, omul și cibernetica"	IEEE, c/o A. Meer Signatron Inc., 27 Hartwell Ave, Lexington, Mass 02173, SUA
12—14 nov. 1973	San Diego SUA	A 44-a reuniune a Societății de cercetări operaționale din America	J. V. Ravienis Res and Adv Techn. MS 7—15, General Dynamics Elec. Dyn. Div. Box. 127. San Diego. Calif. 92112, SUA
1—6 dec. 1973	Chicago SUA	A 31-a conferință asupra cuptoarelor electrice	American Academy of Dermatology Inc. Sec. 2250 NW Flanders, St. Portland, Ore 97210, SUA
iunie 1973	Zagreb Jugoslavia	Seminarul internațional de frigotehnică și condiționarea aerului	ETAN, Jurema, 410 Zagreb Unska 17, Jugoslavia
13—16 nov. 1973	Boston SUA	Conferința de magnetism și materiale magnetice	N. Manyuk, Lincoln Lab., Lexington, Mass 02173, SUA

A.E.

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.312 :621.317. 2.027.37 – 621.386.843
Маринеску, А.: **Электромагнитное экранирование лаборатории высокого напряжения на заводе Электропутере — Крайова**
Electrotehnica **21**, № 5, май 1973, стр. 169–180

Рассматривается вопрос электромагнитного экранирования лабораторий высокого напряжения, современно оборудованных для измерения частичных разрядов, вызываемых электрооборудованием высокого напряжения. После анализа возможностей расчета экранирования, описываются решения, примененные в новой лаборатории высокого напряжения на заводе Электропутере — Крайова и достигнутые результаты.

ДК 621.314.2.015.33 :681.32
Рэдукан, И. и *Кэлин, Г.*: **Расчет начального распределения импульсного напряжения в силовых трансформаторах при помощи цифровой вычислительной машины**
Electrotehnica **21**, № 5, май 1973, стр. 180–184

Излагаются принципы метода расчета начального распределения импульсного напряжения в силовых трансформаторах, исходя из ёмкостной эквивалентной схемы улучшенной по сравнению со схемами, применяемыми в классических теориях, благодаря введению регулирующих обмоток и обмоток низкого напряжения. В отличие от других методов, этот метод можно применять также и в случае автотрансформаторных соединений, причем в случае регулировочных трансформаторов под нагрузкой, расчет обеспечивает высокую точность. Метод применим для любой неоднородности обмоток.

Приводятся полученные результаты и сравнения опытов на оригинале.

ДК 621.315.621.5 + 614.73
Никола, Гр.: **Слоистые материалы, прочные на воздействие высоких температур, осуществленные в стране**
Electrotehnica **21**, № 5, май 1973, стр. 185–190

Дается описание работ, проведенных с целью исследования поведения слоистых материалов на тканьевой базе из стеклянного волокна и различных синтетических смолах, изготовляемых в настоящее время в FCME, при температуре в 250°C.

В качестве критерия испытания применяли сопротивление изгибу, потери веса, сопротивление сжатию, сопротивление на раскалывание, испытание на напряжение и электрическое сопротивление между штепселями.

ДК 621.315.611 :537.533.3
Хафнер, А.: **Применение электронной микроскопии при исследовании структуры электротехнических и электронных материалов**
Electrotehnica **21**, № 5, май 1973, стр. 191–197

Уточняя необходимость применения электронной микроскопии в качестве метода исследования структуры некоторых материалов, применяемых в электротехнической и электронной промышленности, в работе приводятся полученные в этой области результаты, в период 1967—1971 гг., в рамках физико-химического исследовательского отдела I.C.P.E.

ДК 621.317. 726.085.4 :621.382.2
Брашован, И., Сторосчук, М. и *Харко, Шт.*: **Вольтметры переменного напряжения с расширенной шкалой с диодами Зенера**
Electrotehnica **21**, № 5, май 1973, стр. 197–201

Приводится расчет вольтметров переменного напряжения с расширенной шкалой, при помощи диодов Зенера. Результаты расчетов применялись при исследовании специфических свойств этих вольтметров а также для определения их размеров. Эксперимен, тальная проверка подтвердила правильность и практическую рациональность расчетов.

Новые румынские изделия 202

Новые документальные материалы 206

Научные и технические демонстрации 207

210

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.312 :621.317.2.027.3/7 – 621.386.843

Marinescu, A. : **Elektromagnetische Abschirmung des Hochspannungslaboratoriums im Werk „Electroputere"-Craiova**
Electrotehnica, 21 H.5, Mai, 1973, S. 169–180

Der Verfasser behandelt das Problem der elektromagnetischen Abschirmung der modern eingerichteten Hochspannungslaboratorien für die Messung teilweiser Entladungen an Hochspannungsausrüstungen. Nach einer Analyse der Möglichkeit der Abschirmungsberechnung werden die im Hochspannungslaboratorium des Werks Electroputere in Craiova angewandte Lösung und die erzielten Ergebnisse dargelegt.

DK 621.314.2.015.33.681.32

Răducanu, I. und *Călin Gh.* : **Berechnung der, durch die Impulsspannung in Leistungstransformatoren angeregte Verteilung mit Hilfe von Digitalrechner**
Electrotehnica, 21, H.5, Mai 1973, S. 180–184

Es werden die Prinzipien einer Berechnungsmethode der Verteilung dargelegt, die durch die Impulsspannung in Leistungstransformatoren angeregt werden. Als Ausgangspunkt dient eine kapazitive Ersatzschaltung, die gegenüber den Schaltungen in herkömmlichen Theorien eine Verbesserung erfahren hat. Diese besteht daran, dass auch Kapazitäten der Reglerwicklung und der Niederspannungswicklungen eingeführt wurden. Zum Unterschied von anderen Methoden kann diese auch in Falle der Schaltverbindungen der Spartransformatoren angewandt werden. Im Falle der, unter Spannung stehenden Regeltransformatoren wird eine verbesserte Berechnungspräzision erreicht. Die Methode hat für jede Ungleichförmigkeit der Wicklungen allgemeine Gültigkeit Abschliessend werden eine Reihe erzielter Ergebnisse und Vergleiche mit Versuchen am Original angeführt.

DK 621.315.621.6+614.73

Nicola, Gr. : **Im Land gefertigte Schichtstoffe mit hoher Temperaturfestigkeit**
Electrotehnica 21, H. 5, Mai 1973, S. 185–190

Der Verfasser untersuchte des Verhalten von Schichtstoffen auf Glasgewebeträger und verschiedenen Kunstharzen bei einer Temperatur von 250°C. Diese Stoffe werden zur Zeit im Betrieb FCME erzeugt. Als Testkriterium wurden die Biegefestigkeit, der Gewichtschwund, die Stauchfestigkeit, die Schlitzfestigkeit, die Spannungsprüfung und der elektrische Widerstand zwischen den Buchsen gewählt.

DK 621.315.611 :537.533.3

Hafner, A. : **Anwendung der Elektronenmikroskope bei der Gefügeuntersuchung elektrotechnischer und elektronischer Materialien**
Electrotehnica 21, H. 5, Mai 1973, S. 191–197

Es wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, elektronische Mikroskope bei der Gefügeuntersuchung einiger Materialien, die in der elektrotechnischen und elektronischen Industrie Verwendung finden, anzuwenden. Die in der Zeitspanne 1967–1971,in der Abteilung für physikalische und chemische Forschungen des Instituts für Forschung und Entwicklung im Elektrizitätswesen in dieser Hinsicht erzielten Ergebnisse werden beschrieben.

DK 621. 317.726.085.4 :621.382.2

Braşovan, I., Storosciuc, und *Harko, St.* : **Voltmesser für Wechselspannung mit erweiteter Skala mit Zener-Dioden**
Electrotehnica 21, H. 5, Mai 1973, S. 197–201

Die Arbeit bezieht such auf die Berechnung der Voltmesser für Wechselspannung mit, am Endpunkt ausgedehnter Skala mit Hilfe von Zener-Dioden. Die Ergebnisse dieser Berechnung wurden bei der Untersuchung der spezifischen Eigenschaften dieser Voltmesser und deren Bemassung verwendet. Experimentalversuche bestätigten die Richtigkeit und den praktischen Nutzen dieser Berechnung.

NEUE RUMÄNISCHE ERZEUGNISSE 202

NEUES DOKUMENTATIONSMATERIAL 206

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE VERANSTALTUNGEN 207

SOMMAIRE

CD 621.312 : 621.317.2.027.3/7 – 621.386.843

Marinescu, A. : **L'écranage électromagnétique du laboratoire de haute tension de l'usine „Electroputere" — Craiova.**

Electrotehnica **21**, nr. 5, mai 1973, p. 169–180

On traite le problème de l'écranage électromagnétique des laboratoires de haute tension modernes, pour le mesurage des décharges partielles produites par l'équipement électrique de haute tension. Après avoir analysé les possibilités de calcul de l'écranage, on décrit : la solution appliquée au nouveau laboratoire de haute tension de l'usine „Electroputere" — Craiova et les performances réalisées.

CD 621.314.2.015.33 :681.32

Răducanu, I. et *Călin, Gh.* : **Le calcul de la répartition initiale de la tension d'impulsion dans les transformateurs de puissance, en utilisant des calculateurs numériques.**

Electrotehnica **21**, no. 5, mai 1973, p. 180–184

On présente les principes d'une méthode de calcul de la répartition initiale d'impulsion dans les transformateurs de puissance, en partant d'un schéma équivalent capacitif, amélioré par rapport aux schémas utilisés dans les théories classiques, par le fait que l'on introduit aussi des capacité des enroulements de règlage et des enroulements de basse tension. Différent des autres méthodes, la méthode que l'on présente peut être utilisée aussi au cas des connexions autotransformatrices et, pour le cas des transformateurs de règlage sous charge, la précision des calculs est améliorée. Cette méthode est générale, pour n'import quelle non-homogénéite des enroulements.

On présente une série de résultats obtenus ainsi que des comparaisons avec des expériences effectuées sur l'original.

CD 621.315.621.6+614.73

Nicola, Gr. : **Matériaux stratifiés résistants aux températures élevées, réalisés dans notre pays.**

Electrotehnica **21**, no. 5, mai 1973, p. 185–190

On présente les études effectuées concernant le comportement des matériaux stratifiés à support de tissu en verre et différentes résines synthétiques, fabriqués actuellement à l'F.C.M.E., à la température de 250°C.

Comme critère pour le chargement, on a choisi la résistance au pliage, les pertes de poids, la résistance à la compression, la résistance au fendage, l'essai à la tension et la résistance électrique entre les fiches.

CD 621.315.611 :537.533.3

Hafner, A. : **L'utilisation de la microscopie électronique pour l'étude de la structure des matériaux électrotechniques et électroniques.**

Electrotehnica **21**, no. 5, mai 1973, p. 191–197

Précisant la nécessité d'utiliser la microscopie électronique comme méthode d'investigation de la structure de certains matériaux utilisés dans l'industrie électrotechnique et électronique, l'ouvrage présente les résultats obtenus dans ce domaine, au cours de la période 1967–1971, dans le cadre de la Section de recherches physiques et chimiques de l'I.C.P.E.

CD 621.317.726.085.4 : 621.382.2

Braşovan, I., Storosciuc, M. et *Harko, St.* : **Voltmètres de tension alternative à echelle agrandie avec des diodes Zoner.**

Electrotehnica **21**, no. 5, mai 1973, p. 197–201

On présente le calcul des voltmètres de tension alternative à echelle prolongée à l'extrémité, à l'aide des diodes Zoner. Les résultats du calcul ont été appliqués à l'étude des propriétés spécifiques de ces voltmètres, ainsi que pour établir leurs dimensions. Les vérifications expériementales ont confirmé l'exactitude et l'utilisation pratique de calculs.

NOUVEAUX PRODUITS ROUMAINS 202

NOUVEAUX MATERIAUX DOCUMENTAIRES 206

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 207

CONTENTS

DC 621.312 :621.317.2.027.3/7 – 621.386.843

Marinescu, A. : **Electromagnetic screening in the high tension laboratory of „Electroputere" works of Craiova.**

Electrotehnica **21**, No 5, May 1973, p. 169–180

The paper deals with the problem of electromagnetic screening in modern high voltage laboratories designed for measurement of partial discharges produced by high voltage equipment. After analysing the possibilities of calculating the screening, the author describes the solution adopted at the new high tension laboratory of „Electroputere" works of Craiova and the performances achieved.

DC 621.314.2.015.33 :681.32

Răducan, I. and *Călin, Gh.* : **Calculation of the initial repartition of pulse tension in transformes using digital computers.**

Electrotehnica **21**, No 5, May 1973, p. 180–184

The author describe the principles of a new method of calculating the initial repartition of pulse tension in transformers, starting from an improved capacitive diagram which includes also the capacities of regulating windings and of low voltage windings. Unlike other methods this one can be used also for self-transforming connections ; when used for regulating transformers the calculation accuracy is improved. The method is a general one to be used for any in-homogeneity of windings. The paper presents a series of results comparing them with experiments.

DC 621.315.621.6–614.73

Nicola, Gr. **High temperature-resistant lamination made in Romania.**

Electrotehnica **21**, No 5, May 1973, p. 185–190

The author describes the behaviour of lamination with glass fibre or various syntetic resins underlayer, produced by FCME, at 250°C. Testing criteria : flexing life, loss of weight, compression resistance, splitting resistance, tensile test and electric resistance between plugs.

DC 621.315.611 :537.533.3

Hafner, A. : **Use of electron microscope in studying the structure of electrical and electronic materials.**

Electrotehnica **21**, No 5, May 1973, p. 191–197

Stressing the role of electronic microscopy in investigating the structure of certain materials used in electrical and electronic engineering, the paper presents the results achieved in this field over the 1967–1971 period at the Physical-Chemical Research Department of I.C.P.E.

DC 621.317.726.085.4 : 621.382.2

Braşovan, I., Storosciuc, M., and *Harko, St.* : **Alternating voltage voltmeters provided with scale extended by means of Zener diodes.**

Electrotehnica **21**, No 5, May 1972, p. 197–201

The authors present the calculation of alternating voltage voltmeters provided with scale extended by means of Zener diodes. The calculus results were applied to the study of the specific properties of these voltmeters and in dimensioning them. Experimental tests have confirmed the accuracy and practical utility of the calculation.

NEW ROMANIAN PRODUCTS 202

NEW DOCUMENTARY MATERIALS 206

SCIENTIFIC AND TECHNICAL ACHIEVEMENTS 207

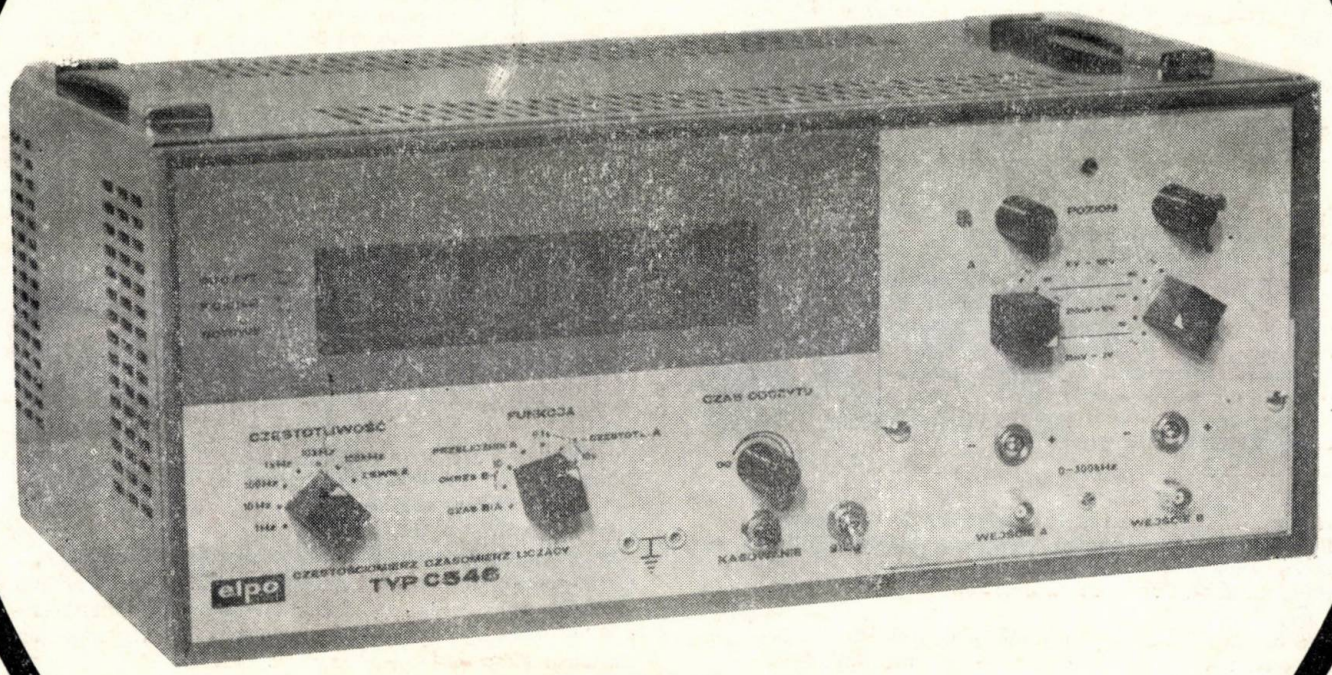
METRONEX

Întreprindere poloneză de comerț exterior
Varșovia 1, Al. Jerozolimskie 44
C.P.: 198; telex 21.44.71; telefon 26.22.21 — 26.74.41
Întreprinderea METRONEX este membră a Uniunii industriilor producătoare de instrumente de automatizare și măsură

VĂ INVITĂ
SĂ VIZITAȚI
EXPOZIȚIA DE :

MERA

— APARATE ELECTRONICE DE MĂSURĂ ȘI CONTROL
— INSTRUMENTE ELECTRICE DE MĂSURĂ



METRONEX

care va fi organizată în perioada
28.V.—9.VI.1973.

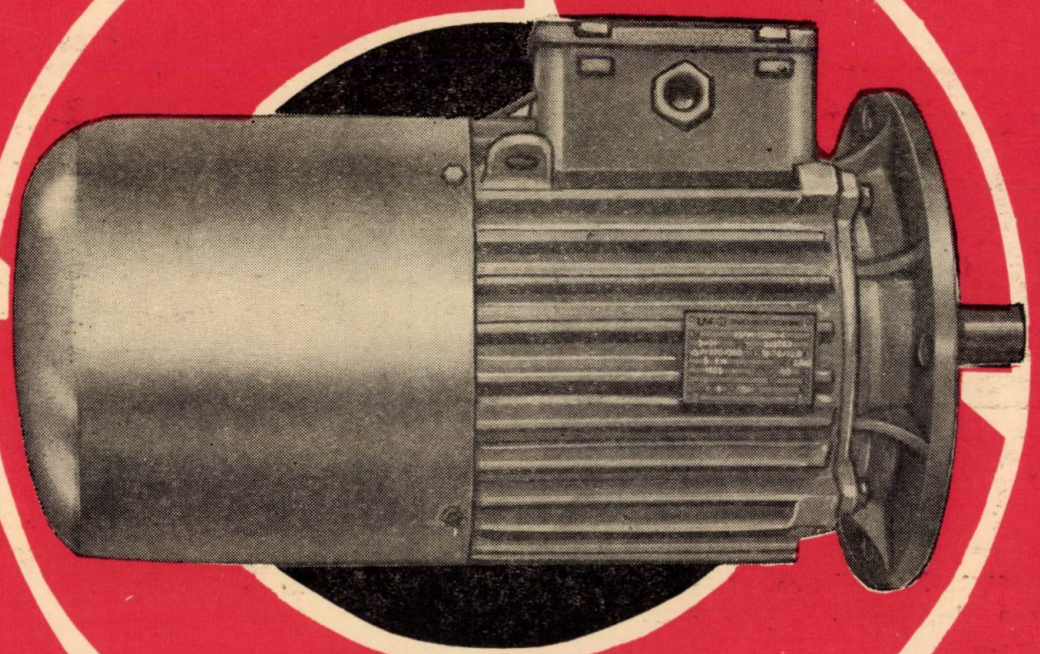
la reprezentanța comercială permanentă a întreprinderii de comerț exterior **METRONEX**, București, Aleea Alexandru nr. 12, telefon: 33.51.62.

PUBLICOM

UZINA UMEB
DE MAȘINI ELECTRICE BUCUREȘTI

BUCUREȘTI, STR. HO ȘI MIN NR 4, SECTOR 7 TELEFON 31.52.20

PRODUCE ȘI LIVREAZĂ PENTRU BENEFICIARI INTERNI ȘI DIN EXTERIOR PRINTRE ALTE MAȘINI ELECTRICE ȘI PE CELE DE MAI JOS:



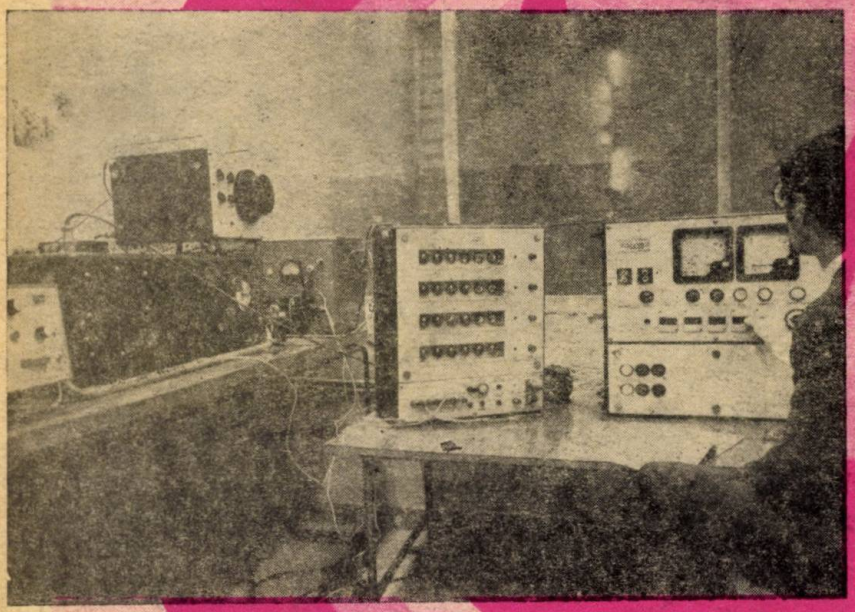
Motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit, echipate cu frînă electromecanică, destinate acţionării instalaţiilor de ridicat.

Seria acestor motoare cuprinde 36 tipodimensiuni repartizate în 6 gabarite constructive şi conţine motoare de puteri între 0,32 kW pînă la 10 kW, turaţia de 1500 rot/min, 1000 rot/min şi 750 rot/min.

Construcţia închisă a acestor motoare, sistemul de răcire autoventilat, sistemul de alimentare a frînei de curent continuu cu prize din motor şi diode redresoare, reglarea comodă a momentului de frînare, posibilitatea deblocării manuale a frînei, le fac utilizabile într-un domeniu larg de acţionări.

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICA

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive !

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine !

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dvs., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele !

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite ?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 ani în activitate care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

Telefonați la : 31.41.00

BUCUREȘTI BD. T. VLADIMIRESCU Nr. 45 - 47 — Telefon : 31.41.00

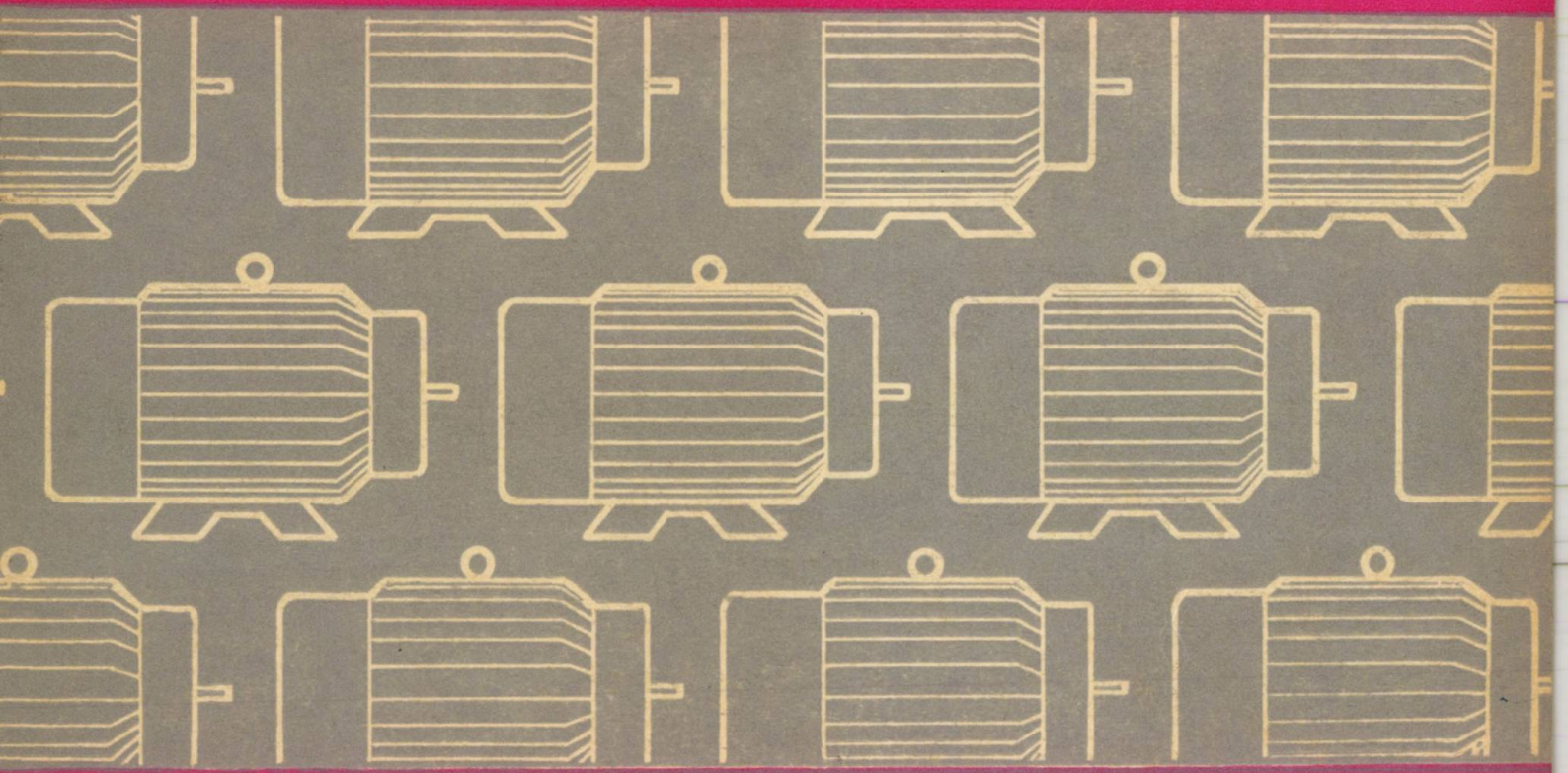
I C P E

E2010

R

MTDRÁLYA

ELECTROTEHNICA



ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 21 • Nr. 6 • IUNIE 1973

6

I.P.R.S. Băneasa

ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ȘI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREȘTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

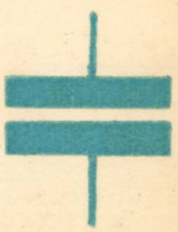
produce:

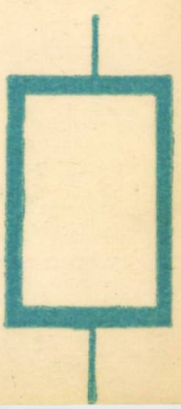
PIESE RADIO

- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare cu polistiren
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare cu hîrtie uz general
- Condensatoare cu hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto,
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Tranzistoare cu germaniu de joasă frecvență
  - — de mică putere
  - — de medie putere
  - — de putere
- Tranzistoare cu germaniu, de înaltă frecvență
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu cu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere





ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 6, pag. 209–256 iunie 1973

CUPRINS

CZ 621.3.014.31:621.316.57.064.3:681.14

Sasu, Mimi : **O metodă de cercetare pe calculator analogic a unui arc electric modelat pe baza ecuaţiei lui Cassie şi Mason**

Electrotehnica **21**, nr. 6, iunie 1973, p. 209–220

Se analizează comportarea dinamică a unui arc electric de întrerupere, la care evacuarea energiei se presupune că se face atît prin conducţie radială, cît şi prin convecţie. Pornind de la o variantă a ecuaţiei arcului, a lui Cassie şi Mason, se stabileşte o metodică de calcul care să permită rezolvarea acestei ecuaţii, cuplată cu ecuaţiile diferenţiale ale unui circuit de curent alternativ, pe un calculator analogic. În urma studiului efectuat într-o mare serie de variante de calcul, se stabilesc anumite condiţii în care se ajunge, fie la o reaprindere a arcului, fie la stingerea sa definitivă.

CZ 621.313.283.013.34

Cojan, M. **Motorul pas cu pas cu reluctanţă variabilă.**

Electrotehnica **21**, nr. 6, iunie, 1973, p. 220–223

Motorul pas cu pas cu reluctanţă variabilă este un tip de motor electric pas cu pas, utilizat în sistemul numeric de comandă, prezentînd avantaje faţă de celelalte motoare pas cu pas prin funcţionarea la frecvenţe ridicate (2000 paşi/s), cu unghi de pas foarte mic (1°30′). Se prezintă pe scurt principiul de funcţionare şi caracteristicile motorului, tratînd mai în detaliu modelul matematic, funcţia de transfer, precum şi domeniile de utilizare sugerînd criteriile de alegere.

CZ 621.314.263:621.314.637

Zitron, N., Tiucă, N. şi *Gagea Al.*, : **Sinteza septuplorului feromagnetic static monofazat de frecvenţă**

Electrotehnica **21**, nr. 6, iunie 1973, p. 223–229

Se prezintă sinteza septuplorului feromagnetic static monofazat de frecvenţă, în două cazuri, analizîndu-se, de asemenea, influenţa histerezisului miezurilor. Se determină valorile optime ale mărimii de intrare pentru care se obţine o multiplicare cu 3 ; 5 sau 7 a frecvenţei.

CZ 621.317.2.027.8.005(498.21)

Marinescu, A. şi *Cîrstea, D.* : **Noul laborator de înaltă tensiune al uzinelor Electroputere Craiova**

Electrotehnica **21**, nr. 6, iunie 1973, p. 229–241

Noul laborator de înaltă tensiune conceput ca bază materială strict necesară în dezvoltarea fabricaţiei de echipament electrotehnic de înaltă tensiune, are multe aspecte specifice şi originale în realizarea sa. În lucrarea de faţă se prezintă tehnologia, soluţiile constructive şi utilajele folosite pentru acest laborator.

CZ 621.318.34:681.14

Popa, I., : **Cu privire la calculul registrelor de deplasare tritact cu ferite.**

Electrotehnica **21**, nr. 6, iunie 1973, p. 241–246

Pe baza integrării ecuaţiei diferenţiale care descrie procesele electromagnetice de comutare în impuls a feritelor cu ciclul de histerezis dreptunghiular, în lucrare se stabilesc relaţii între parametrii, pentru cazul optim de funcţionare, la registrul de deplasare tritact cu ferite.

CZ 621.312(47)

UMEB–25 de ani de producţie electrotehnică

Electrotehnica **21**, nr. 6, iunie 1973, p. 247–250

REALIZĂRI ALE INDUSTRIEI DIN ŢARA NOASTRĂ 250–253

NOI MATERIALE DOCUMENTARE 254–256

SCURTE ŞTIRI 256

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; prof. ing. VL. POPOVICI; academician prof. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director: 50.23.25. Redacția: București, str. Mândinești nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacție: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, *c. 2867 Taxele poștale pentru anul 1973 plătite în cont-avans conform aprobării D.P.D.P. nr.* 137/10078/1972

41 400

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.014.31:621.316.57.064.3:681.14
Сасу, Мими: **Метод исследования на вычислительной машине непрерывного действия электрической дуги, моделированной на основе уравнения Cassie и Masona**
Electrotehnica **21**, №6, июнь 1973, стр. 209–220

Анализируется динамический режим работы электрической дуги выключения, на которой предполагается, что отвод энергии происходит через радиальную проводимость или через конвекцию. Исходя из варианта уравнения дуги Cassie и Masona устанавливается методика расчета, позволяющая решение этого уравнения, соединенного с дифференциальными уравнениями цепи переменного тока, на вычислительной маишне непрерывного действия. На основании исследования, проведенного на ряде вариантов расчета, устанавливаются определенные условия, при которых достигается либо обратное зажигание дуги, либо окончательное ее затухание.

ДК 621.313.283.013.34
Кожан, М.: **Шаговый двигатель с переменным магнитным сопротивлением**
Electrotehnica **21**, №6, июнь 1973, стр. 220–223

Шаговый двигатель с переменным магнитным сопротивлением является шаговым электродвигателем, применяемым в чкисловой системе управления: преимущество этого двигателя по сравнеию с другими шаговыми двигателями заключается в его работе при высоких частотах (2000 шагов/сек.) с незначительным углом шага (1°30').

В статье дается краткое описание принципа работы и характеристика двигателя и рассматривается более подробно математическая модель, передаточная функция и области использования с указанием критериев выбора.

В заключение автор описывает шаговые двигатели с переменным магнитным сопротивлением, осуществленные в ЧССР фирмой МЕЗ-Nachod

ДК621.314.263:621.314.637
Зитрон, Н., Тиукэ, Н. и *Гаджа, Ал.:* **Синтез ферромагнитного статистического однофазного частотного семиплора**
Electrotehnica **21**, № 6, июнь 1973, стр. 223–229

Дается синтез ферромагнитного статистического однофазного частотного семиплора, в двух случаях, и анализируется влияние гистерезиса сердечника. Определяются оптимальные значения входной величины, для которой достигается умножение частоты на 3,5 или 7.

ДК 621.317.2.027.8.005 (498.21)
Маринеску, А. и *Кырстя, Д.:* **Новая лаборатория высокого напряжения на заводе Электропутере-Крайова**
Electrotehnica **21**, №. 6, июнь 1973, стр. 229–241

Новая лаборатория высокого напряжения, созданная в качестве необходимой материальной базы в развитии производства электротехнического оборудования высокого напраяжения, отличается многими сецифическими и оригинальными аспектами.

В настоящей работе приводится технология, конструктивные решения и оборудование, применяемое для этой лаборатории.

ДК 621.318.34:681.14
Попа, П.И.: **К вопросу расчета трехтактных регисров передвижения с ферритами**
Electrotehnica **21**, № 6, июнь 1973, стр. 241–246

На основе интегрирования дифференциального уравнения, описывающего электромагнитные процессы импульсной коммутации ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса, для оптимального случая работы, на трехтактном регистре перемещения с ферритами.

УМЕБ—25 лет электротехнической продукции
Electrotehnica **21**, № 6, июнь 1973, стр. 247–250

ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ 250–253

ОВЫЕ ДОКУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 254–256

РАТКИЕ СООБШЕНИЯ 256

INHALTSVERZEICHNIS

CZ 621.3.014.31:621.316.57.064.3:681.14

Sasu, Mimi : **Methode zur Untersuchung eines, aufgrund der Gleichung von Cassie und Mason modellierten Lichtbogens mit Hilfe eines Analogrechners**

Electrotehnica **21**. H. 6, Juni 1973, S. 209–220

Das dynamische Verhalten eines Schaltlichtbogens wird analysiert, angenommen wird, dass die Energieableitung sowohl radial als auch durch Konvektion erfolgt. Von einer Variante der Lichtbogengleichung von Cassie und Mason ausgehend, wird ein Berechnungsverfahren abgeleitet, das die Lösung dieser Gleichung in Verbindung mit den Differentialgleichungen eines Wechselstromkreises, an einem Analogrechner gestattet. Anhand einer Studie, die eine breitgespannte Reihe von Berechnungsvarianten umfasst, werden gewisse Bedingungen festgelegt, unter denen entweder ein Bogenrückschlag oder eine endgültige Bogenauslöschung stattfindet.

CZ 621.313.283.013.34

Cojan, M. : **Schrittmotor mit veränderlichem magnetischem Widerstand**

Electrotehnica **21**, H. 6, Juni 1973, S. 220–223

Der Schrittmotor mit veränderlichem magnetischem Widerstand wird in nummerischen Steuersystemen eingesetzt und zeichnet sich, gegenüber den übrigen Schrittmotoren durch seine hohe Betriebsfrequenz (2000 Schritt/sek) und einem sehr kleinen Schrittwinkel (1°30′) aus.

Der Verfasser beschreibt kurz das Betriesprinzip und die Kennzeichen des Motors und behandelt eingehend das mathematische Modell, die Übertragungsfunktion und die Anwendungsbereiche, wobei er auf die Auswahlkriterien hinweist.

Abschliessend werden die, von der Firma MEZ-Náchod in der CSSR gebauten Schrittmotoren mit veränderlichem magnetischen Widerstand vorgestellt.

CZ 621.314.263:62.314.637

Zitron, N., Tiucă, N. und *Gagea, Al.* : **Synthese des einphasigen, statischen, ferromagnetischen Frequenzversiebenfachers**

Electrotehnica **21**, H. 6, Juni 1973, S. 223–229

Für zwei Fälle wird die Synthese des einphasischen, statischen, ferromagentischen Frequenzversiebenfachers dargelegt und der Einfluss der Kernhysteresis analysiert. Es werden die Optimalwerte der Eingangsfgrösse bestimmt, um eine Frequenzvervielfachung um 3,5 oder 7 zu erzielen.

CZ 621.317.2.027.8.005 (498.21)

Marinescu, A. und *Cîrstea, D.* : **Das neue Hochspannungslaboratorium der „Electroputere"-Werke in Craiova**

Electrotehnica **21**, H. 6, Juni 1973, S. 229–241

Das neue Hochspannungslaboratorium ist als eine, für die Fertigungsentwicklung elektrotechnischer Hochspannungsausrüstung unbedingt erfoderliche materielle Grundlage gedacht, und weist zahlreiche spezifische und neuartige Aspekte in seiner Ausführung auf.

Die Verfasser geben einen Überblick die über Technologie, die Konstruktionslösungen und die Ausrüstungen, die in diesem Laboratorium Anwendung fanden.

CZ 621.318.34: 681. 14

Popa, I. : **In bezung auf die Berechnung der Dreitakt-Verschiebungsregister mit Ferrit**

Electrotehnica **21**, H. 6, Juni 1973, S. 241–246

Aufgrund der Integration der Differentialgleichung, die die elektromagnetischen Impulsschaltprozesse der Ferrite mit dreieckigem Hysteresiszyklus beschreibt, stellt der Verfasser eine Beziehung zwischen den Parametern für die optimale Betriebsweise von Dreitakt-Verschiebungsregistern auf.

CZ 621.312 (47)

UMEB – 25 JAHRE ELEKTROTECHNISCHE PRODUKTION.

Electrotehnica , H. 6, Juni 1973, S. 247–250

Lestungen der Industrie in unserem Land 250–252

NEUES DOKUMENTATIONSMATERIAL 254–256

KURZNACHRICHTEN 256

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI-UNELTE ŞI ELECTROTEHNICII ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
ÎNDRUMAREA ŞTIINŢIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 nr. 6 Bucureşti, iunie 1973

OMAGOS MÚSZAKI KÖNYVTÁRES DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

O metodă de cercetare pe calculator analogic a unui arc electric modelat pe baza ecuaţiei lui Cassie şi Mason

MIMI SASU — Bucureşti

CZ 621. 3.014.31:621.316.57.064.3:681.14

1. Consideraţii generale.

În orice sistem electric poate să apară la un moment dat necesitatea de a izola o anumită porţiune a reţelei de restul sistemului. Aşa de pildă, poate fi necesar să se izoleze o porţiune defectată a reţelei în vederea reparării echipamentului sau liniei. Pentru realizarea unei astfel de operaţii se utilizează, de obicei, un dispozitiv electromecanic de întrerupere.

Elementul comun în toate dispozitivele de întrerupere este arcul electric. Acesta a fost descoperit la începutul sec. XIX de către V.V. Petrov în Rusia şi H. Davy în Anglia [1] — [3]. Încercările de explicare a fenomenelor intime legate de natura arcului s-au bazat în mare măsură pe concepţia ionizării gazului.

Cea mai mare parte a arcului o constituie aşa-numita coloană pozitivă sau plasmă. Ea este formată dintr-un gaz sau un amestec de gaz şi vapori la o temperatură extrem de înaltă, în care curentul este purtat de electronii şi ionii produşi în urma ionizării termice a gazului. Datorită efectului de răcire a electrozilor, în imediata lor vecinătate gazul nu poate exista mult timp la temperatură înaltă. Ca urmare, menţinerea curentului prin arc necesită o cădere mare de potenţial, ceea ce conduce la formarea regiunilor de cădere catodică şi anodică [4], [5]. Exceptînd anumite cazuri speciale, căderile de tensiune la electrozi pot fi neglijate faţă de căderea de tensiune din coloana arcurilor electrice care apar în întreruptoarele de înaltă tensiune.

Trăsătura caracteristică a stării de plasmă este aceea de echilibru termic [6]. Plasma arcului nu satisface condiţiile unui echilibru termic ideal deoarece există un permanent schimb de energie cu exteriorul. Pe de o parte, ca urmare a transformării energiei aplicate prin efect Joule, în arc se produce căldură. Pe de altă parte, există o pierdere continuă de căldură din coloana arcului spre mediul exterior, în principal prin convecţie, conducţie şi radiaţie. Dintr-un punct de vedere, studiul pierderilor de căldură a coloanei de arc este poate cea mai importantă parte a fizicii arcului electric [7].

Clarificarea rolului diferitelor mecanisme de disipare a energiei, chiar pentru un simplu arc static, în aer, reprezintă o problemă destul de complexă. De cele mai multe ori este foarte dificil să se facă o demarcare netă între cele trei tipuri de pierderi. Aşa de pildă, analizînd pierderile prin convecţie, s-a stabilit că funcţionarea tuturor întreruptoarelor depinde, practic, de tipul jetului de gaz utilizat pentru stingerea arcului [8]. Un flux puternic de gaz va avea însă efect nu numai asupra disipării energiei prin convecţie, ci şi asupra presiunii arcului. Pierderea prin radiaţie, care depinde într-o mare măsură de presiune, poate fi deci influenţată de jetul de gaz. Pe de altă parte, fluxul de gaz poate schimba forma arcului şi prin urmare, distribuţia temperaturii, ceea ce are drept consecinţă faptul că şi pierderile prin conducţie vor fi afectate.

Deşi există o interacţiune între diferitele moduri de pierdere a căldurii de către coloana arcului, pentru a înţelege rolul jucat de ele este indicat să se studieze fiecare mecanism individual în parte. Trebuie avut în vedere, în primul rînd, că legile clasice ale convecţiei, conducţiei sau radiaţiei [9] nu mai pot fi aplicate ca atare în cazul coloanei de arc, datorită structurii sale speciale şi temperaturilor extrem de înalte pe care le atinge plasma arcului.

Diferitele studii efectuate asupra coloanei arcului electric pot fi raportate la diferitele mecanisme de pierderi admise în ecuaţia de conservare a energiei. Astfel, trebuie menţionate

* Ing. *Mimi Sasu* este cercetător ştiinţific principal la Institutul de cercetare şi proiectare pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.), Bucureşti.

p. 209

încercările de tratare teoretică a arcului dinamic întreprinse de Cassie [10] și de către Mayr [11], [12]. Fiecare dintre cei doi cercetători au propus cîte o ecuație de bilanț energetic, deosebirea esențială dintre ele constînd în faptul că pierderea de energie din coloana arcului este presupusă în ecuația lui Cassie ca fiind prin convecție, în timp ce pierderile de energie în ecuația lui Mayr sînt atribuite proceselor de conducție termică radială.

Analizînd într-un mod unitar ecuațiile diferențiale neliniare ale arcului electric de întrerupere propuse de Cassie și Mayr, Browne [13] ajunge la concluzia că cele două ecuații descriu stări consecutive separate ale comportării arcului. Această observație îi permite să formuleze un model matematic mixt al arcului electric, format din ecuația lui Cassie, pe care o recomandă cu prioritate la trecerea curentului prin zero și din ecuația lui Mayr, pe care o consideră indicată imediat după trecerea prin zero a curentului întrerupt.

Pornind de la ideea că arcurile electrice care apar în întreruptoarele reale, în ecartul de timp important din vecinătatea zeroului curentului, vor pierde energie atît prin convecție, cît și prin conducție, Cassie și Mason [14] încearcă să combine trăsăturile esențiale ale modelelor lui Cassie și Mayr într-un singur model, care să reprezinte arcul de curent alternativ atît înainte, cît și după zeroul curentului. În lucrarea menționată, Cassie și Mason au avut în vedere întreruptoare cu aer comprimat. De altfel, problemele legate de comportarea întreruptoarelor cu aer comprimat în circuite de curent alternativ precum și fenomenele de stingere și reamorsare ale arcului electric în astfel de întreruptoare au preocupat pe mulți cercetători, în acest context putînd fi menționate o serie de lucrări [15] — [26].

2. Formularea ecuației lui Cassie și Mason.

Primul model al arcului electric stabilit de Cassie în anul 1939 [10], presupune o coloană de arc, la care temperatura este constantă în spațiu și timp și la care rezistivitatea pe unitatea de volum, conținutul de energie pe unitatea de volum, precum și puterea pierdută pe unitatea de volum sînt de asemenea constante. Pentru a obține o variație a conductanței coloanei, Cassie presupune o rază variabilă a coloanei arcului. Conform ipotezelor lui Cassie, densitatea curentului și gradientul de tensiune în regim staționar sînt constante, ceea ce conduce la o caracteristică statică:

$$u = \sqrt{\rho\lambda} = U_0, \tag{1}$$

care nu depinde de curent (în regim staționar, U_0 = constant).

Pe baza acestor presupuneri, Cassie stabilește pentru conductanța arcului expresia:

$$\frac{1}{R} = \frac{A}{\rho} = \frac{Q}{\rho q}. \tag{2}$$

De asemenea, Cassie consideră că pierderea de energie din coloană se face prin convecție, în baza relației:

$$P = \lambda A = \frac{\lambda Q}{q}. \tag{3}$$

Al doilea model al arcului de întrerupere, propus în anul 1943 de către Mayr [11], se bazează pe ideea unei coloane de arc cu o rază constantă, dar avînd o temperatură variabilă atît în spațiu (după rază), cît și în timp. Mayr are în vedere o coloană de arc formată în urma unei ionizări termice și care disipă energie numai prin conducție termică. El arată că, chiar dacă se ține seamă de radiație, curba temperaturii precum și densitatea de curent sînt determinate în interiorul arcului numai de conductibilitatea termică radială.

După Mayr, între conținutul de energie Q pe unitatea de lungime și conductanța arcului, pe unitatea de lungime, există o relație de forma:

$$\frac{1}{R} = K \exp \cdot \left(\frac{Q}{Q_0}\right). \tag{4}$$

În fine, Mayr admite că viteza de pierdere a energiei pe unitatea de lungime rămîne constantă:

$$P = P_0, \tag{5}$$

ipoteză care, pentru arcul stabilizat, conduce la o caracteristică statică avînd forma unei hiperbole echilaterale:

$$ui = P_0 = \text{constant}. \tag{6}$$

În urma unor experiențe efectuate asupra întreruptoarelor cu aer comprimat, Cassie și Mason [14] ajung la concluzia că unul dintre factorii care influențează curentul post-arc este gradientul de presiune a gazului în care este situată coloana de arc. În general, constanta de timp a unui arc electric depinde de conținutul de energie a coloanei, precum și de viteza pierderilor sale de energie. În cazul întreruptoarelor cu aer comprimat, pierderile de energie au două forme: pierderile prin convecție, datorate jetului de gaz și dependenței sale de temperatură și pierderile prin conducție, datorate în principal conducției termice radiale. Datorită faptului că arcul este situat într-un jet de gaz, respectiv într-un gradient de presiune, pierderea prin

convecţie are ca efect micşorarea continuă a diametrului coloanei arcului. În lucrarea citată [14], Cassie şi Mason arată că pierderea prin convecţie variază la fel ca aria secţiunii transversale a arcului şi în consecinţă, va fi cu atît mai mare, cu cît curentul prin arc este mai intens. Pe măsură ce diametrul arcului se reduce, pierderile prin conducţie devin comparabile cu pierderile prin convecţie, sau chiar predominante.

În aceste condiţii, expresia care dă pierderile prin convecţie trebuie modificată, deoarece atît conţinutul de energie pe unitatea de volum, cît şi conductivitatea coloanei se vor micşora, ceea ce atrage după sine faptul că tensiunea caracteristică U_0 nu va mai fi constantă. Pe de altă parte, datorită prezenţei convecţiei, nici teoria lui Mayr nu mai poate fi utilizată fără restricţii la analiza comportării dinamice a arcului electric.

Astfel, ca urmare a convecţiei, se produce o contracţie continuă a diametrului coloanei, deci, una dintre ipotezele lui Mayr nu mai este valabilă. Se poate arăta că într-o primă aproximaţie şi independent de viteza sa, această contracţie nu afectează pierderea prin conducţie P_0, care poate fi presupusă, în continuare, constantă în decursul perioadei de trecere a curentului prin zero. Contracţia are însă un efect important asupra constantei Q_0, ceea ce face ca relaţia (4) de definire a conductanţei arcului , după Mayr, să nu mai poată fi utilizată.

Încercînd să cuprindă într-o singură ecuaţie atît pierderile prin convecţie, cît şi pierderile prin conducţie, Cassie şi Mason au luat ca punct de plecare ecuaţia comportării dinamice a arcului dedusă de Browne [13], sub forma ei generală :

$$R\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{R}\right)=\frac{F'(Q)}{F(Q)}(p-P)\cdot \qquad (7)$$

Formula lui Mayr care dă conductanţa $1/R$ a arcului, în funcţie de conţinutul de căldură Q, se schimbă în :

$$\frac{1}{R}=k_1 r^2 \exp\cdot\left(\frac{Q}{r^2 k_2}\right)=F(Q). \qquad (8)$$

Derivînd relaţia (8) în raport cu Q rezultă :

$$\frac{F'(Q)}{F(Q)}=\frac{1}{r^2 k_2}=\frac{k_0}{r^2}, \qquad (9)$$

unde $k_0 = 1/k_2$.

În baza ipotezelor formulate mai înainte, puterea P, disipată de coloana arcului poate fi considerată ca reprezentînd suma dintre puterea pierdută prin convecţie, conform relaţiei (3) şi puterea pierdută prin conducţie, redată prin relaţia (5). Se obţine astfel [27] :

$$P=\mu Q+P_0. \qquad (10)$$

Substituind relaţiile (9) şi (10) în relaţia (7), ecuaţia arcului dinamic ia forma :

$$-\frac{\mathrm{d}\ln R}{\mathrm{d}t}=\frac{k_0}{r^2}(p-\mu Q-P_0). \qquad (11)$$

Cassie şi Mason au rescris ecuaţia (11) şi sub alte forme. Dintre acestea, autorul s-a oprit asupra variantei:

$$-\frac{\mathrm{d}\ln R}{\mathrm{d}t}=\frac{k_0}{r^2}\left[\left(p-\frac{U_0^2}{R}\right)-P_0\right], \qquad (12)$$

pe care şi-a propus să o rezolve, în anumite condiţii, cu ajutorul unui calculator analogic, în vederea stabilirii condiţiilor de stingere şi de reaprindere a unui arc electric într-un întreruptor la care acţionează simultan pierderile prin conducţie şi pierderile prin convecţie. Urmînd o metodică de calcul întrucîtva asemănătoare, într-o cercetare anterioară s-au rezolvat, pe calculatorul analogic, ecuaţiile diferenţiale neliniare ale lui Mayr şi Cassie, cuplate cu ecuaţiile diferenţiale ale unui circuit simplu de curent. Rezultatele obţinute sînt prezentate comparativ în lucrarea [28].

3. Interacţiunea dintre arc şi circuitul de încercare

Întotdeauna cînd un întreruptor de putere trebuie să deconecteze un scurtcircuit, are loc o luptă între arcul de întrerupere şi reţeaua electrică, în care se produce scurtcircuitul [29]. Atîta timp cît curentul prin circuit este controlat, în principal, de circuitul întrerupt, arcul electric care apare la bornele întreruptorului arde stabil. Pierderea stabilităţii arcului rezultă în urma unei interacţiuni tranzitorii rapide între arc şi circuit. Se ajunge, astfel, foarte repede la o situaţie instabilă, în care circuitul nu mai controlează curentul, ci gradientul de tensiune aplicat coloanei de arc încă conductoare. Această instabilitate poate conduce fie la anularea completă a conductanţei coloanei de arc, fie la o revenire a stării cvasistaţionare a arcului, în funcţie de bilanţul energetic din coloana de arc, în intervalul de timp considerat [30].

Rezultă că, studiul comportării dinamice a unui arc de întrerupere implică în mod necesar considerarea arcului electric în interacţiune cu circuitul de încercare. De cele mai multe ori, schema echivalentă a circuitului de încercare poate fi destul de simplă, ca în figura 1 a. S-a presupus o rezistenţă a circuitului destul de mică pentru a putea fi neglijată. Întrucît toate elementele unui circuit de încercare au capacităţi distribuite la pămînt, acestea se reprezintă în mod obişnuit printr-o capacitate concentrată C, în paralel cu întreruptorul încercat.

Datorită inductanței L, tensiunea sursei este defazată cu aproximativ 90° înaintea curentului de scurtcircuit. În vecinătatea trecerii prin zero a curentului întrerupt, tensiunea de alimentare va fi egală cu $\hat{U}$. Se poate considera că această tensiune se menține constantă în scurtul interval de timp, în care se petrec fenomenele de stingere și de reaprindere a arcului electric. În aceste condiții, pentru circuitul din figura 1b, în care întreruptorul a fost înlocuit prin conductanța intervalului disruptiv, se pot scrie următoarele ecuații diferențiale:

$$L\frac{\mathrm{d}i_s}{\mathrm{d}t} + u = \hat{U}, \tag{13}$$

$$C\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} + Gu = i_s. \tag{14}$$

La aceste două ecuații ale circuitului trebuie adăugată și ecuația arcului. Rescriind relația (12) în funcție de conductanța arcului $G = 1/R$, ecuația lui Cassie și Mason capătă forma:

$$\frac{\mathrm{d}\ln G}{\mathrm{d}t} = \frac{k_0}{r^2}\left[(ui - U_0^2 G) - P_0\right]. \tag{15}$$

În vederea rezolvării pe un calculator analogic a acestor ecuații, s-a întocmit un model matematic de bază, care include și cîteva relații de legătură:

$$\begin{aligned}
&\frac{\mathrm{d}\ln G(t)}{\mathrm{d}t} = -\frac{k_0}{r^2}P_0 + \frac{k_0}{r^2}\left[u(t)i(t) - U_0^2 G(t)\right],\\
&\frac{\mathrm{d}G(t)}{\mathrm{d}t} = G(t)\frac{\mathrm{d}\ln G(t)}{\mathrm{d}t},\\
&\frac{\mathrm{d}i_s(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{\hat{U}}{L} - \frac{1}{L}u(t),\\
&\frac{\mathrm{d}u(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C}i_s(t) - \frac{1}{C}G(t)u(t),\\
&i(t) = G(t)u(t),\\
&p(t) = u(t)i(t),\\
&w(t) = p(t) - U_0^2\,G(t).
\end{aligned} \tag{16}$$

Relațiile de legătură au fost introduse pentru a se obține cît mai multe informații referitoare la comportarea arcului electric după trecerea prin zero a curentului întrerupt. Așa de pildă, ultima ecuație a sistemului (16) reprezintă diferența dintre puterea dezvoltată în arc și puterea cedată de acesta mediului exterior, prin convecție.

Condițiile inițiale ale sistemului de ecuații (16) s-au presupus a fi:

$$G(t_0 +) = G_0\,;\quad i_s(t_0+) = 0\,;\quad u(t_0 +) = 0. \tag{17}$$

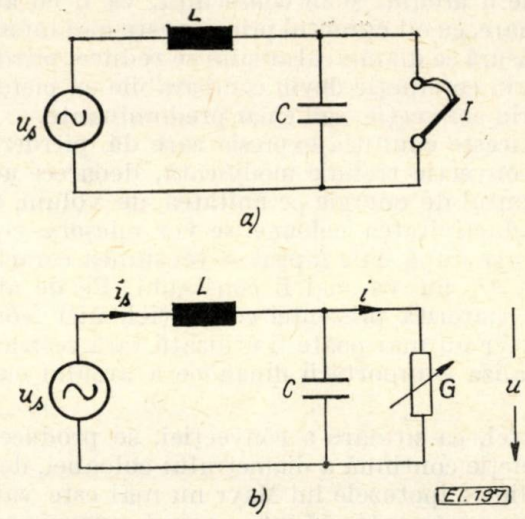


Fig. 1. Schema unui circuit echivalent simplificat pentru încercarea unui întreruptor.

4. Modelarea pe calculatorul analogic

Pe baza modelului matematic (16) s-a întocmit schema de calcul din figura 2, concepută astfel, încît să se poată obține variațiile în funcție de timp ale conductanței arcului $G(t)$, tensiunii de arc $u(t)$, curentului prin arc $i(t)$, puterii dezvoltate în arc $p(t)$, precum și variațiile în timp ale mărimilor de calcul $w(t)$ și $\dfrac{\mathrm{d}\ln G(t)}{\mathrm{d}t}$.

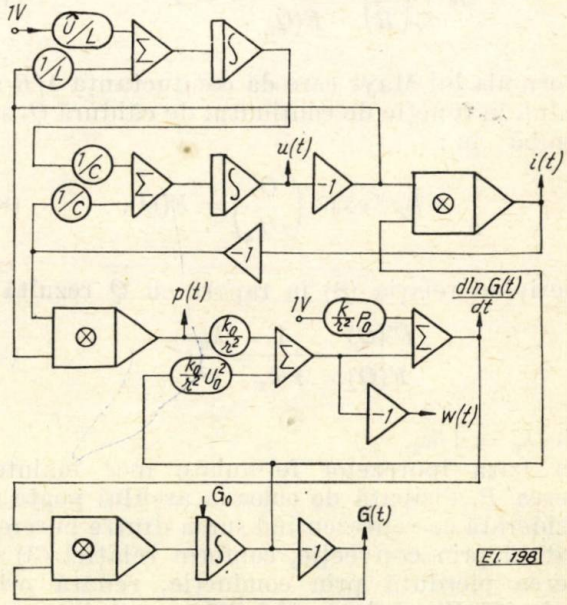


Fig. 2. Schema de modelare a arcului electric descris prin ecuația lui Cassie și Mason.

Pentru a trece de la variabilele modelului matematic la variabilele calculatorului, s-au utilizat următoarele mărimi normate :

$$\tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}; \quad \overline{G} = G\sqrt{\frac{L}{C}}; \quad \overline{u} = \frac{u}{\hat{U}};$$

$$\bar{i}_s = \frac{i_s}{\hat{U}}\sqrt{\frac{L}{C}}; \quad \bar{i} = \frac{i}{\hat{U}}\sqrt{\frac{L}{C}}; \tag{18}$$

$$\overline{p} = \frac{p}{\hat{U}^2}\sqrt{\frac{L}{C}}; \qquad \overline{W} = W\sqrt{LC}\frac{k_0}{r^2}.$$

Dacă se rescrie sistemul de ecuaţii (16) cu noile variabile normate, se obţine un sistem de ecuaţii adimensional, care constituie modelul matematic pentru calculatorul analogic :

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}\ln\overline{G}(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = -a + b\overline{u}(\tau)\bar{i}(\tau) - c\overline{G}(G) \\ \dfrac{\mathrm{d}\,\overline{G}(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = G(\tau)\,\dfrac{\mathrm{d}\ln\overline{G}(\tau)}{d\tau} \\ \dfrac{\mathrm{d}\bar{i}_s(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = 1 - \overline{u}(\tau) \\ \dfrac{\mathrm{d}\overline{u}(\tau)}{\mathrm{d}\tau} = \bar{i}_s(\tau) - \overline{G}(\tau)\overline{u}(\tau) \\ \bar{i}(\tau) = \overline{G}(\tau)\overline{u}(\tau) \\ \overline{p}(\tau) = \overline{u}(\tau)\bar{i}(\tau) \\ \overline{W}(\tau) = b\,\overline{p}(\tau) - c\,\overline{G}(\tau) \end{cases} \tag{19}$$

în care, s-au notat cu a, b şi c expresiile :

$$a = \frac{k_0}{r^2}P_0\sqrt{LC}\ ; \quad b = \frac{k_0}{r^2}C\hat{U}^2\ ; \quad c = \frac{k_0}{r^2}CU_0^2. \tag{20}$$

Cele trei mărimi adimensionale a, b şi c depind de parametrii circuitului L, C şi $\hat{U}$, precum şi de parametrii arcului r, P_0 şi U_0. Dacă se presupune, într-o primă aproximaţie, că diametrul coloanei de arc nu se modifică şi că elementele L şi C ale circuitului de încercare sînt constante, rezultă următoarele relaţii de dependenţă :

$$a = f_1(P_0);\ b = f_2(\hat{U});\ c = f_3(U_0). \tag{21}$$

Dînd diferite valori parametrilor a, b şi c, se poate analiza cu ajutorul calculatorului analogic, influenţa puterii disipate şi a tensiunii arcului în regim staţionar, precum şi influenţa tensiunii sursei, asupra fenomenelor de stingere şi de reaprindere a arcului electric, respectiv asupra deconectării reuşite a unui circuit.

Condiţiile iniţiale ale sistemului de ecuaţii (19), în mărimi normate, vor fi :

$$\overline{G}(\tau_0 +) = \overline{G}_0;\ \bar{i}_s(\tau_0 +) = 0;\ \overline{u}(\tau_0+) = 0. \tag{22}$$

În ceea ce priveşte schema de modelare corespunzătoare sistemului (19), ea se obţine cu uşurinţă din schema de calcul reprezentată în figura 2. Cele trei produse indicate în modelul matematic (19) se realizează fie cu ajutorul blocurilor de înmulţire ale calculatorului analogic, fie utilizînd un servomultip icator, în funcţie de fenomenul analizat (reaprindere sau stingere). Evident că schemele de modelare reale, în ambele cazuri, vor fi mai complexe decît schema de modelare principială din figura 2.

5. Date iniţiale şi rezultate de calcul

5.1 Studierea regimului de reaprindere.

Pe cale experimentală s-a stabilit că pentru studierea regimului de reaprindere a arcului electric este indicat ca între parametrii a, b şi c din modelul matematic (19) să existe relaţia

$$c < a < b. \tag{23}$$

Datele de calcul în care a fost rezolvat sistemul de ecuaţii (19) în condiţiile (23) sînt afişate în tabela 1. Ele au fost astfel alese, încît să se poată studia în aceeaşi măsură influenţa parametrilor a, b şi c asupra reaprinderii arcului.

În afară de transformările de scară de timp şi de amplitudine care se fac în mod implicit prin introducerea mărimilor normate (18), în cazul conductanţei $G(t)$ a mai fost necesară o transformare suplimentară de amplitudine pentru a putea încadra problema în limitele de rezoluţie ale calculatorului.

Sistemul de ecuaţii (19) a fost rezolvat în 60 de variante, conform tabelei 1. Dintre rezultatele furnizate de calculatorul analogic, în figurile 3 — 6 din lucrare se prezintă cîteva seturi de înregistrări ale soluţiilor $\overline{G}(\tau)$, $\overline{u}(\tau)$, $\bar{i}(\tau)$ şi $\overline{p}(\tau)$. Pentru a da o imagine clară asupra influenţei fiecăruia dintre parametrii a, b şi c asupra regimului de funcţionare a arcului, în figurile menţionate sînt grupate cîte trei familii de curbe, corespunzătoare următoarelor cazuri :

A) a = variabil ; b = const. ; c = const.
B) b = variabil ; a = const. ; c = const.
C) c = variabil ; a = const. ; b = const.

Din analiza curbelor prezentate în figura 3 se constată că, după depăşirea punctului de minim, conductanţa arcului are o viteză de creştere direct proporţională cu parametrul b şi invers

Tabela 1

Condiții de reaprindere

a	0,5																	
b	1				2				5				10				20			
c	0	0,005	0,01	0,015	0	0,01	0,02	0,03	0	0,01	0,02	0,03	0	0,01	0,02	0,03	0	0,01	0,02	0,03
a	1																	
b	5								10									
c	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,04	0,06		0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,04	0,06			
a	1																	
b	20								50									
c	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,04	0,06		0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,04	0,06			
a	2																	
b	50				100				200									
c	0	0,02	0,04	0,06	0	0,02	0,04	0,06	0	0,02	0,04	0,06						

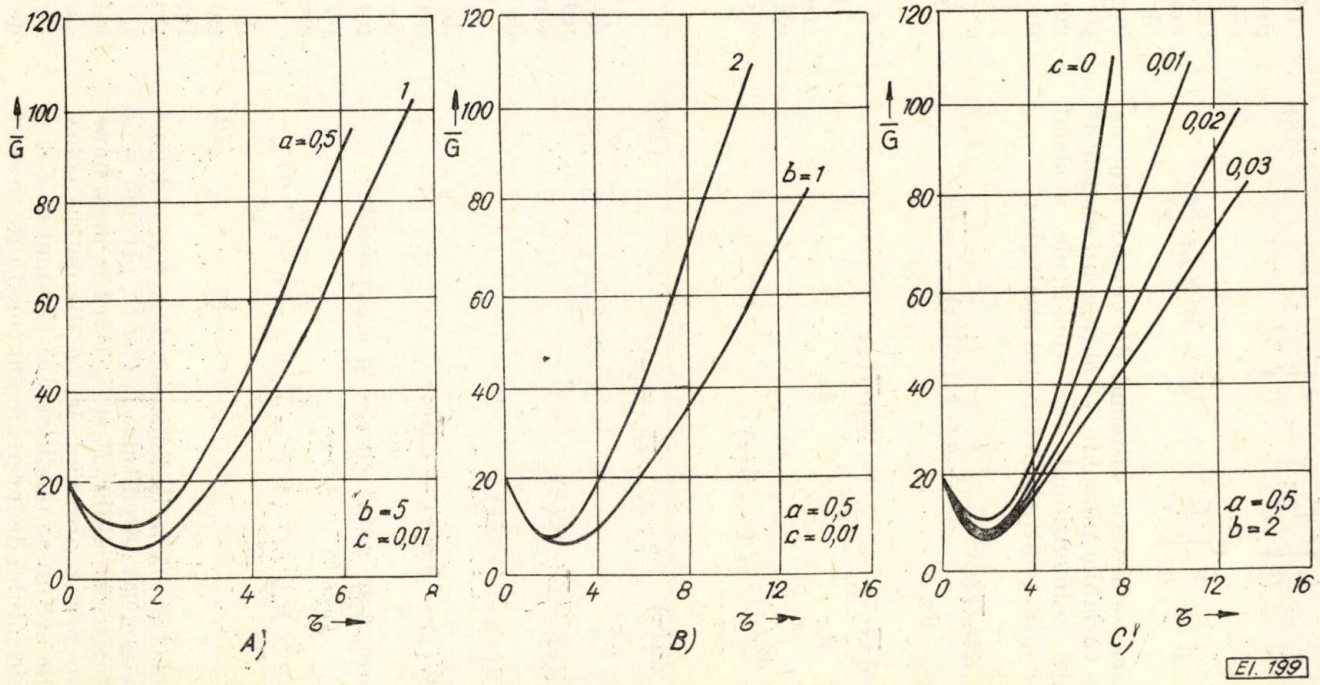


Fig. 3. Variația în timp a conductanței arcului electric în cazul reaprinderii :
A) — influența parametrului *a* ; *B*) — influența parametrului *b* ; *C*) — influența parametrului *c*.

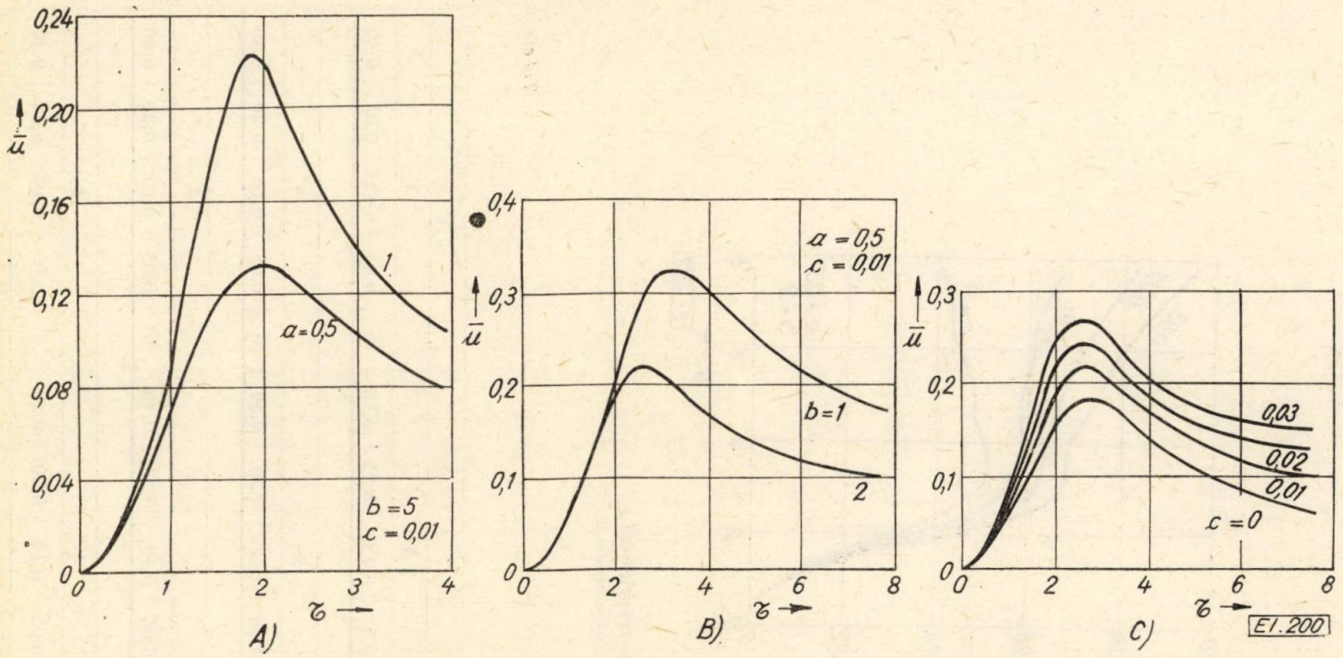


Fig. 4. Variația cu timpul a tensiunii de arc în cazul reaprinderii :
A) – influența parametrului *a* ; *B)* – influența parametrului *b* ; *C)* – influența parametrului *c*.

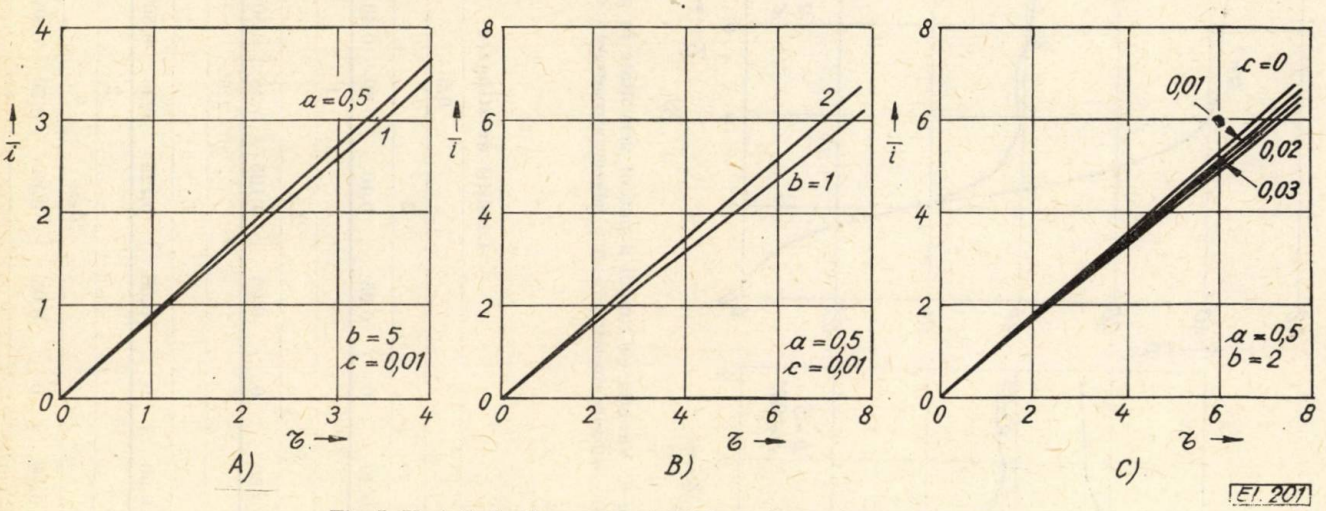


Fig. 5. Variația în timp a curentului de arc în cazul reaprinderii :
A) – influența parametrului *a* ; *B)* – influența parametrului *b* ; *C)* – influența parametrului *c*.

proporțională cu parametrii *a* și *c*. Ținînd seama de semnificația fizică a celor trei parametri adimensionali, rezultă că reaprinderea arcului se va produce cu atît mai ușor cu cît tensiunea aplicată circuitului de încercare este mai mare și cu cît puterea disipată prin conducție precum și puterea disipată prin convecție (care poate fi considerată proporțională cu tensiunea U_0) sînt mai mici.

Aceeași concluzie se desprinde și din înregistrările tensiunii de arc redate în figura 4, în care se vede că tensiunea de reaprindere a arcului este cu atît mai mică cu cît parametrul *b* crește, iar parametrii *a* și *c* se micșorează. În același mod se pot analiza caracteristicile curentului de arc din figura 5, unde se vede tendința curentului postzero de a ajunge cu atît mai repede la valori mari, corespunzătoare curentului de scurtcircuit, cu cît *b* este mai mare, iar *a* și *c* sînt mai mici.

Alura de variație în timp a puterii dezvoltate în arc, ca și influența parametrilor *a*, *b* și *c* asupra puterii arcului se poate vedea din înregistrările prezentate în figura 6.

5.2 Studierea regimului de stingere.

Studierea regimului de stingere s-a efectuat în condițiile în care parametrii *a*, *b* și *c* din modelul matematic (19) satisfac relația:

$$c < a > b. \qquad (24)$$

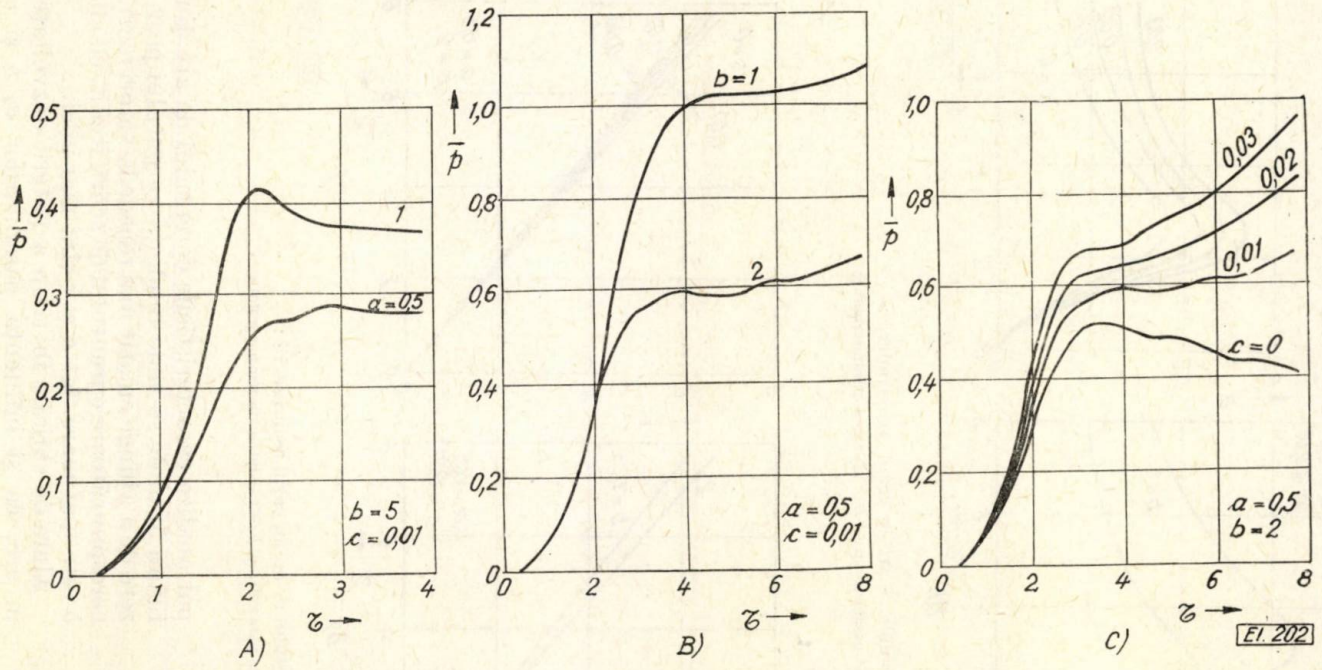


Fig 6. Variația cu timpul a puterii dezvoltate în arc în cazul reaprinderii :
A) — influența parametrului *a* ; *B*) — influența parametrului *b* ; *C*) — influența parametrului *c*.

Tabela 2

Condiții de stingere

b	0,5																			
a	1,5					2					2,5					3				
c	0	0,05	0,10	0,20	0,40	0	0,05	0,10	0,20	0,40	0	0,05	0,125	0,25	0,50	0	0,05	0,125	0,25	0,50
b	1																			
a	2					2,5					3					4				
c	0	0,05	0,125	0,25	0,50	0	0,05	0,125	0,25	0,50	0	0,05	0,125	0,25	0,50	0	0,05	0,10	0,20	0,40
b	1,5																			
a	2,5					3					4					5				
c	0	0,05	0,125	0,25	0,50	0	0,05	0,125	0,25	0,50	0	0,05	0,10	0,20	0,40	0	0,05	0,10	0,20	0,40
b	2																			
a	3					3,5					4					5				
c	0	0,05	0,125	0,25	0,50	0	0,05	0,10	0,20	0,40	0	0,05	0,10	0,20	0,40	0	0,05	0,10	0,20	0,40

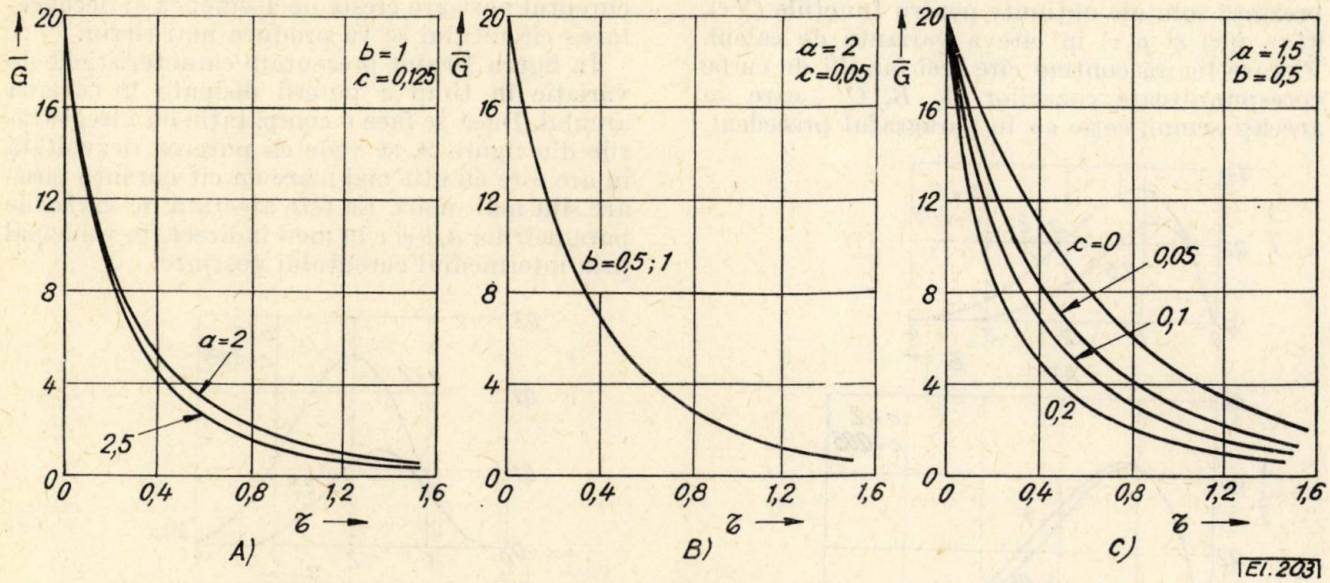


Fig. 7. Variaţia cu timpul a conductanţei arcului electric în cazul stingerii:
A) — influenţa parametrului *a*: *B)* — influenţa parametruiui: *b*) *C* — influenţa parametrului *c*.

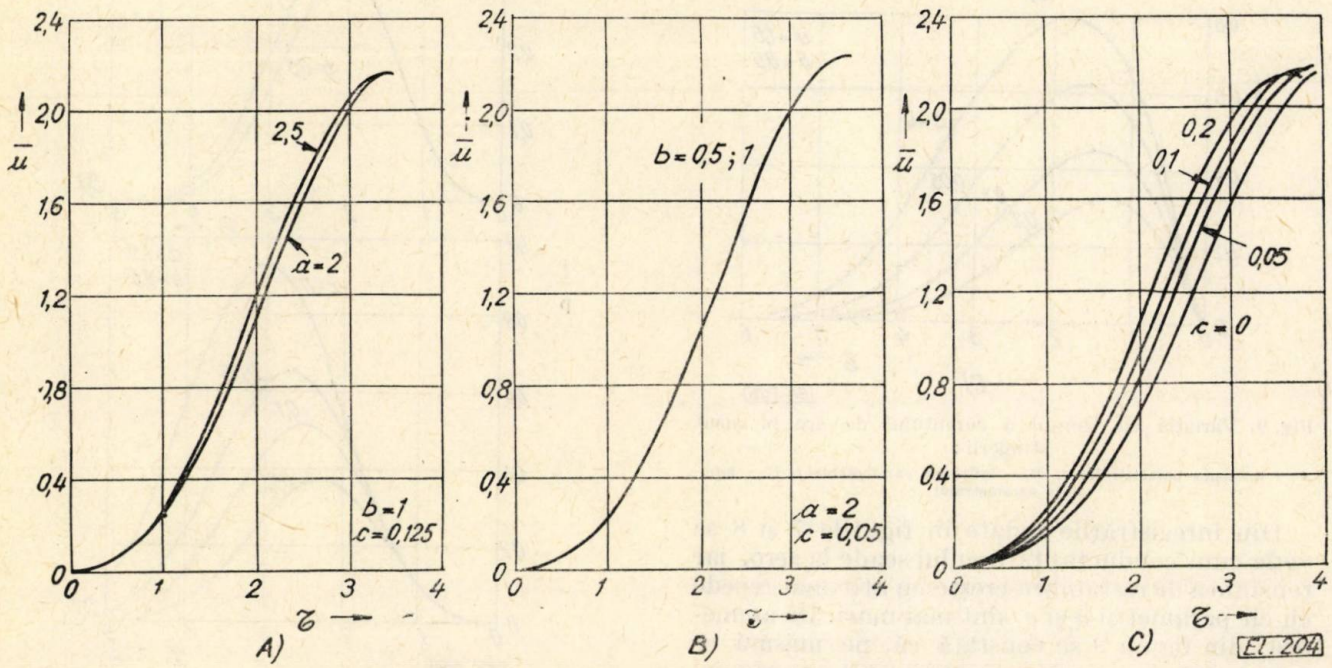


Fig. 8. Variaţia în timp a tensiunii de arc în cazul stingerii:
A) — influenţa parametrului *a*; *B)* — influenţa parametrului *b*; *C)* — influenţa parametrului *c*.

În tabela 2 sînt afişate datele de calcul pentru care s-a rezolvat sistemul de ecuaţii (19) şi care îndeplinesc condiţia (24). Ca şi în cazul anterior, ele sînt grupate astfel, încît să permită stabilirea influenţei parametrilor *a*, *b* şi *c* asupra stingerii arcului electric.

Datorită vitezei foarte mari cu care scade conductanţa arcului după trecerea prin zero a curentului întrerupt, în cazul stingerii definitive a arcului electric, a fost necesar ca, pe lîngă transformarea de scară de amplitudine a conductanţei normate *G* din modelul matematic (19), să se efectueze şi o transformare suplimentară de scară a timpului normat τ, în sensul dilatării lui.

Rezolvarea sistemului de ecuaţii (19) în cele 80 de variante care rezultă din tabela 2 a condus la un bogat material grafic din care s-au selectat, pentru a fi prezentate în această lucrare, o serie de înregistrări. Astfel, în figurile 7 — 10 se

prezintă soluțiile obținute pentru funcțiile $\bar{G}(\tau)$, $\bar{u}(\tau)$, $\bar{i}(\tau)$ și $p(\tau)$ în cîteva variante de calcul. Fiecare figură conține cîte trei familii de curbe corespunzătoare cazurilor A, B, C — care au aceeași semnificație ca în paragraful precedent.

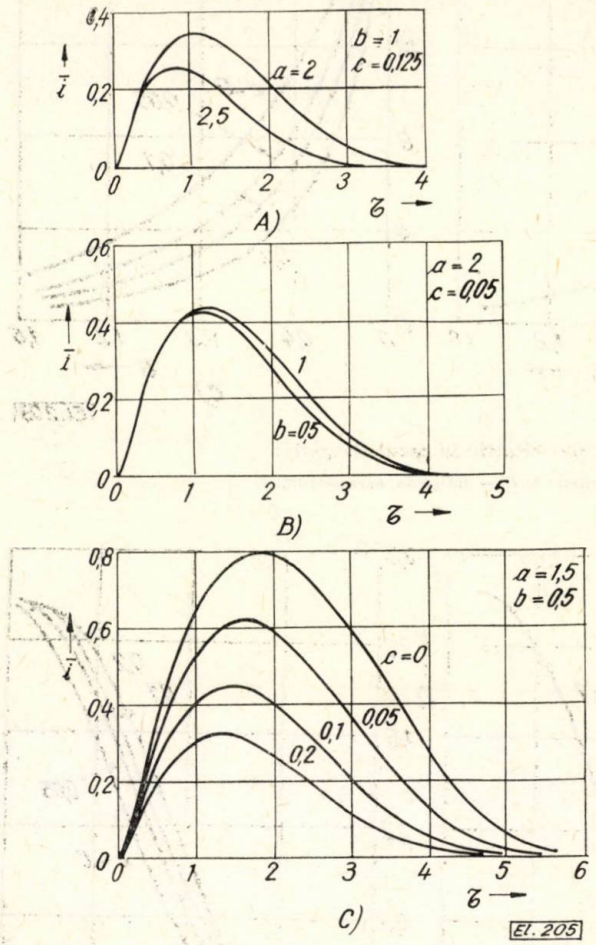


Fig. 9. Variația cu timpul a curentului de arc în cazul stingerii :

A) — influența parametrului *a*; *B*) — influența parametrului *b*; *C*) — influența parametrului *c*.

Din înregistrările redate în figurile 7 și 8 se vede cum conductanța arcului scade la zero, iar tensiunea de restabilire crește cu atît mai repede cu cît parametrii *a* și *c* sînt mai mari. De asemenea, din figura 9 se constată că, pe măsură ce parametrii *a* și *c* cresc, curenții post-arc se micșorează. Toate acestea atestă faptul că, cu cît este mai mare puterea pierdută de arc, fie prin conducție termică, fie prin convecție, cu atît stingerea arcului este mai rapidă.

Din caracteristicile prezentate în figurile 7B și 8 B s-ar părea că parametrul *b*, respectiv tensiunea aplicată circuitului, nu are nici o influență asupra conductanței și tensiunii arcului electric. De fapt, din cauză că cele două valori ale lui *b* sînt foarte apropiate, caracteristicile de variație în timp a conductanței, ca și cele ale tensiunii arcului practic se suprapun. Așa cum se vede însă în figura 9B, pe măsură ce parametrul *b* și deci, tensiunea aplicată circuitului crește, curentul post-arc crește de asemenea și deconectarea circuitului se va produce mai tîrziu.

În figura 10 sînt prezentate caracteristicile de variație în timp a puterii disipate în coloana arcului. Dacă se face o comparație cu înregistrările din figura 9, se vede că puterea dezvoltată în arc este cu atît mai mare cu cît curenții post-arc sînt mai mari. Ea este afectată de variațiile parametrilor *a*, *b* și *c* în mod indirect, în principal prin intermediul curentului post-arc.

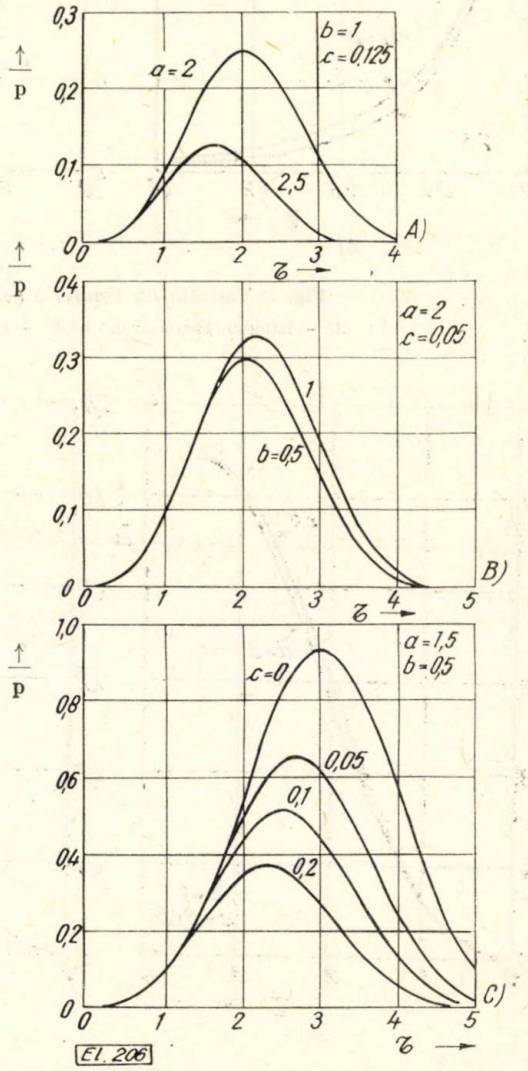


Fig. 10. Variația în timp a puterii dezvoltate în arc în cazul stingerii :

A) — influența parametrului *a*; *B*) — influența parametrului *b*; *C*) — influența parametrului c.

6. Concluzii

a) Pentru descrierea matematică a unui arc electric de întrerupere la care evacuarea energiei dezvoltate în arc se presupune că se face atît prin conducție radială cît și prin convecție, se poate utiliza ecuația lui Cassie și Mason. Cuplarea acestei ecuații diferențiale neliniare cu ecuațiile diferențiale ale unui circuit de încercare

inductiv, conduce la un sistem de ecuații ce poate fi rezolvat numai pe calculator.

b) În vederea rezolvării pe calculatorul analogic a unui arc electric cu reacție, descris prin ecuația lui Cassie și Mason, s-a stabilit o metodică de calcul care să permită obținerea a cît mai multor informații cu privire la comportarea arcului electric după trecerea naturală a curentului prin zero. Utilizarea unor mărimi normate alese în mod adecvat precum și introducerea unor parametri adimensionali a, b, și c, a permis simplificarea sistemului de ecuații și posibilitatea rezolvării lui într-un număr mare de variante de calcul.

c) Schema de modelare a fost astfel concepută încît să se poată trece cu ușurință de la o variantă de calcul la alta, diferența dintre ele fiind marcată de valorile diferite pe care le iau parametrii adimensionali a, b și c din modelul matematic analizat. În acest mod s-au putut analiza într-o gamă foarte largă condițiile în care poate apare reaprinderea arcului și separat, condițiile de stingere definitivă.

d) Din soluțiile funcții de timp, obținute cu ajutorul calculatorului analogic rezultă, pe de o parte domeniul de valori al parametrilor adimensionali a, b și c, pentru care se obține fie o reaprindere fermă, fie o stingere definitivă a arcului și pe de altă parte, în ce sens trebuie să se acționeze asupra acestor parametri, care sînt dependenți de anumite caracteristici ale arcului și ale circuitului, pentru a se obține un anumit regim de funcționare a arcului electric.

NOTAȚII FOLOSITE

u — valoarea instantanee a tensiunii de arc;
ϱ — rezistivitatea coloanei arcului pe unitatea de volum;
λ — puterea pierdută de coloana arcului pe unitatea de volum;
U_0 — tensiunea de ardere a arcului în regim staționar, pe unitatea de lungime;
R — rezistența coloanei de arc pe unitatea de lungime;
A — aria secțiunii transversale a coloanei de arc;
Q — cantitatea de căldură conținută în unitatea de lungime a arcului;
q — energia conținută de coloana arcului, pe unitatea de volum;
P — puterea cedată de coloana arcului pe unitatea de lungime, mediului ambiant;
K; Q_0 — constante;
P_0 — puterea pierdută de arc în regim staționar, pe unitatea de lungime;
i — valoarea instantanee a curentului în arc;
$F(Q)$ — conductanța coloanei de arc pe unitatea de lungime;
$F'(Q)$ — derivata conductanței în raport cu Q;
p — puterea dezvoltată în arc pe unitatea de lungime;
k_0; k_1; k_2 — constante dimensionale;
r — raza arcului;
μ — factor de proporționalitate dimensional;
u_s — valoarea instantanee a tensiunii alternative a sursei;
L — inductanța circuitului de încercare;
C — capacitatea de punere la pămînt a circuitului de încercare;
I — întreruptorul încercat;
G — conductanța plasmei reziduale din intervalul disruptiv;
i_s — curentul total prin circuitul de încercare;
$\hat{U}$ — valoarea de vîrf a tensiunii alternative a sursei;
w — mărime de calcul avînd dimensiunea unei puteri;
t_0 — momentul ultimei treceri prin zero a curentului de scurtcircuit;
G_0 — valoarea conductanței arcului la trecerea curentului prin zero;

$t, G, u, i_s, i, p, w, \dfrac{\mathrm{d} \ln G}{\mathrm{d}t}, t_0, G_0$ — mărimi reale;

$\tau, \overline{G}, \overline{u}, \overline{i}_s, \overline{i}, \overline{p}, \overline{w}, \dfrac{\mathrm{d} \ln \overline{G}}{\mathrm{d}\tau}, \tau_0, \overline{G}_0$ — mărimi calculator;

a, b, c — parametri adimensionali;
f_1, f_2, f_3 — funcții.

Bibliografie

[1] *Kapțov, N. A.* Fenomene electrice în gaze și vid (trad. din l. rusă). Ed. Academiei, București, 1955, 685 p.
[2] *Engel, A.* von. Ionised Gases. Clarendon Press, Oxford, 1955, 281 p.
[3] *Bădărău, E.* Fizica descărcăturilor în gaze. Ed. Academiei, București, 1957, 301 p.
[4] *Sasu, M.* Natura fizică și proprietățile arcului electric. În: Progresele științei, **7**, nr. 3, 1971, p. 117—126.
[5] *Hoyaux, M. F.* Arc Physics. Springer — Verlag, New York, 1968, 305 p.
[6] *Kapțov, N. A.* Electronica (trad. din l. rusă). Ed. tehnică, București, 1956, 507 p.
[7] *Cassie, A. M.* The Physical Nature and Properties of Arcs. In: The Electrical Journal, London, 3 apr. 1959, p. 991—997.
[8] *Lee, T. H.* Plasma Physics and the Interruption of an Electric Circuit. In: Proceedings of the IEEE, **57**, nr. 3, mar. 1969, p. 307—323.
[9] *Hamburger, L.* Introducere în teoria propagării căldurii. Ed. Academiei, București, 1956, 534 p.
[10] *Cassie, A. M.* A New Theory of Arc Rupture and Circuit Severity. Rap. 102, CIGRÉ, 1939.
[11] *Mayr, O.* Beiträge zur Theorie des Statischen und des Dynamischen Lichtbogens. În: Archiv für Elektrotechnik, Berlin, **37**, nr. 12, 1943, p. 588—608.
[12] *Mayr, O.* Uber die Theorie der Lichtbogens und seine Löschung. În: ETZ, **64**, nr. 49/50, 1943, p. 645—652.
[13] *Browne, Jr.* și *T. E.* A Study of A—C Arc Behaviour Near Current zero by Means of Mathematical Models. In: Trans. *AIEE*, **67**, 1948, part. I, p. 141—155.
[14] *Cassie, A. M.* și *Mason, F. O.* Arc Conductivity in Gas Blast Circuit Breakers. Rap. 103, CIGRÉ, 1956.
[15] *Mayr, O.* Hochleistungschalter ohne Öl. În: Elektrotechnische Zeitschrift, **53**, 1932, p. 75—81.
[16] *Horst, D. Th. J.* ter și Rutgers, G. A. W. Courant et radiation post-arc dans les arcs a courant alternatif intense par rapport aux disjoncteurs. Rap. 132, CIGRÉ, 1954.
[17] *Teszner, S., Blase, J.* Nouvelle contribution a L'étude de courants post-arc dans les interrupteurs à haute tension. Rap. 145, CIGRÉ, 1954.
[18] *Thommen, H.* Les progrès les plus récentes réalisés, dans le domaine des disjoncteurs pneumatiques. Rap. 119, CIGRÉ, 1956.
[19] *Horst, D. Th. J.* ter și *Rutgers, G. A. W.* Phénomènes liés au courant zéro dans les arcs des disjoncteurs pneumatiques en courant alternatif. Rap. 122, CIGRÉ, 1956.
[20] *Bergstrom, L. R.* și *Pucher, W.* Recherches sur la rigidité diélectrique de l'air comprimé dans les disjoncteurs pneumatiques. Rap. 105, CIGRÉ, 1958.
[21] *Teszner, S., Dufour, P., Guillaume, A.* și *Delevoy, V.* Le courant post-arc et son interpretation en fonction des caractéristiques de l'interrupteur et du circuit. Rap. 148, CIGRÉ, 1958.
[22] *Rieder, W* și *Passaquin, J.* Sur la decroissance du courant vers zéro et le courant résiduel dans les disjoncteurs. Rap. 105, CIGRÉ, 1960.

[23] *Horst, D. Th.* ter, *Rutgers, G.A.W.* şi *Bisht, V. K.* La coupure des arcs de forte intensité et la conductivité post-arc. Rap. 106, CIGRÉ, 1960.

[24] *Frate, G.* Comparaison entre les disjoncteurs à air comprimé et les disjoncteurs à faible volume d'huile du point de vue des defauts kilometriques. Rap. 144, CIGRÉ, 1962.

[25] *Rizk, J.* Instabilité de l'arc et constante de temps des disjoncteurs à air comprimé. Rap. 107, CIGRÉ, 1964.

[26] *Kopplin, H., Rolf, K. P.* şi *Zückler, K.* Study of the Effects of Gas Flow on the Performance of Gas-Blast Circuit Breakers. Proceedings of the IEE, **59**, nr. 4, apr. 1971, p. 518–524.

[27] *Sasu, M.* Modele matematice ale arcului electric de întrerupere. În: Progresele ştiinţei, **8**, nr. 6, 1972, p. 275–285.

[28] *Sasu, M.* Stabilirea condiţiilor de stingere şi de reaprindere ale unui arc electric cu ajutorul calculatorului analogic. În: Electrotehnica, **20**, nr. 11, nov. 1972, p. 400–409.

[29] *Mayr, O.* Schaltleistung und wiederkehrende Spannung. În: ETZ-A, RFG, **75**, nr. 13, 1 iulie 1954, p. 447–451.

[30] *Browne, Jr., T. E.* An Approach to Mathematical Analysis of A–C Arc Extinction in Circuit Breakers. În: Trans. AIEE Power App. Syst., **77**, febr. 1959, p. 1508–1517.

Intrat în redacţie la 25. X. 1972

Motorul pas cu pas cu reluctanţă variabilă.

COJAN MIHAIL* – Bucureşti

CZ 621.313.283.013.34

Dezvoltarea tehnicii numerice de conducere automată a făcut necesară utilizarea unui astfel de motor electric care să permită transformarea impulsurilor electrice în deplasare mecanică. Acesta este motorul pas cu pas. Motoarele pas cu pas, pe lîngă faptul că utilizează direct informaţia numerică, sînt şi foarte robuste neavînd nici un contact alunecător.

Motorul pas cu pas numără de fapt numărul de impulsuri pe care le primeşte la înfăşurarea statorică şi dă o reprezentare analogă acestui număr de impulsuri sub formă de paşi unghiulari ai axului rotoric. Prin schimbarea succesiunii impulsurilor de comandă, după o lege arbitrară, motorul pas cu pas lucrează în regim de urmărire reproducînd cu exactitatea unui pas orice aspect al mişcării dată sub formă electrică.

Autorul îşi propune, să prezinte cîteva din problemele privind aplicarea practică a motorului pas cu pas cu reluctanţă variabilă în schemele electrice de acţionare automată în tehnică numerică.

1. Modelul matematic.

Tratarea analitică a funcţionării motorului pas cu pas, cu m faze comportă studiul unui sistem de $m + 1$ ecuaţii, dintre care m ecuaţii corespund echilibrului electric al celor m înfăşurări decalate între ele cu un unghi de $\frac{2\pi}{m}$ grade electrice, şi o ecuaţie a echilibrului dinamic al motorului:

– ecuaţiile echilibrului electric

$$i_k \cdot R_k + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\psi_k(i_k, \theta) = u_k(t);\ k = 1,2,3,\ldots, m. \quad (1)$$

– ecuaţia echilibrului dinamic

$$M = I_r \frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} + D_r \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}, \quad (2)$$

unde:

u_k, i_k, ψ_k reprezintă valorile instantanee, respectiv ale tensiunii, curentului şi fluxului înfăşurării k;

J_r – momentul de inerţie a rotorului;

D_r – coefic entul de frecare a rotorului.

Avînd în vedere că $\psi_k = L_k \cdot i_k$, unde L_k este inductivitatea înfăşurării respective şi este funcţie numai de poziţia rotorului:

$$E = R \cdot i + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + i\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}\theta}\cdot\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}. \quad (3)$$

Cuplul sincronizant conform teoriei forţelor generalizate este egal cu derivata energiei electromagnetice a sistemului în raport cu coordonata generalizată, care în cazul acesta este unghiul de rotaţie a rotorului, θ.

$$M = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\theta}W_m = \frac{1}{2}\cdot i^2 \cdot \frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}\theta}. \quad (4)$$

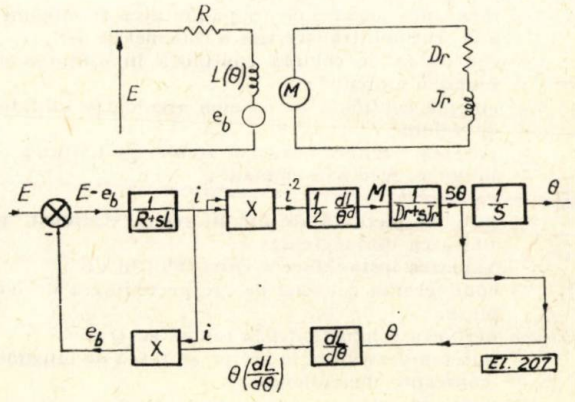


Fig. 1. Modelul matematic al motorului pas cu pas

Pe baza ecuaţiilor (2), (3) şi (4) se poate reprezenta schematic modelul matematic al motorului pas cu pas cu reluctanţă variabilă şi diagrama bloc a unei faze a motorului (fig. 1).

* Ing. *M. Cojan* lucrează la Institutul pentru tehnologii nucleare

2. Funcţia de transfer

Funcţia de transfer se determină pentru cazul cînd motorul este comandat astfel încît execută un singur pas. În practică se constată că există o diferenţă, este drept mică, între poziţia de pas reală obţinută şi poziţia prescrisă, predeterminată. Existenţa acestei diferenţe determină apariţia unui cuplu de menţinere care tinde să anuleze această diferenţă [2]. Expresia lui este:

$$M_r = K_r\,[\Theta_d(s) - \Theta(s)], \qquad (5)$$

unde:

K_r este constanta cuplului de menţinere, Nm/rad;

Θ_d — transformata Laplace a distanţei unghiulare dintre poziţia prescrisă, cu originea în poziţia de repaus, rad.

Ecuaţia diferenţială pentru mişcarea motorului include pe lîngă termenii din ecuaţia (2) şi termenul corespunzător cuplului de menţinere:

$$M = J_r \cdot s^2\Theta + D_r \cdot s \cdot \Theta + K_r \cdot \Theta \qquad (6)$$

Dar pe de altă parte

$$M = K_m \cdot I, \qquad (7)$$

unde:

K_m este constanta cuplului, Nm/A.

Ecuaţia (3), în urma efectuării transformatei Laplace, devine:

$$E(s) = (R + sL)I + K_e \cdot s \cdot \Theta, \qquad (8)$$

unde:

$E(s)$ este transformata Laplace a tensiunii diferenţiale aplicată la una din înfăşurările motorului, V;

$I(s)$ — transformata Laplace a curentului într-o înfăşurare, A;

$\Theta(s)$ — transformata Laplace a poziţiei unghiulare instantanee a axului motorului, rad.

Substituind expresiile (7), (8) în (6) rezultă:

$$K_m \frac{E - K_e \cdot s \cdot \Theta}{R + sL} = J_r \cdot s^2 \cdot \Theta + D_r \cdot s \cdot \Theta + K_r \cdot \Theta \qquad (9)$$

Şi rezolvînd, se obţine funcţia de transfer

$$\frac{\Theta(s)}{E(s)} = \frac{K_m/K_r \cdot R}{\frac{J_r \cdot \tau}{K_r}s^3 + \frac{J_r + D_r\tau}{K_r}s^2 + \left(\tau + \frac{D_r}{K_r} + \frac{K_e \cdot K_m}{K_r \cdot R}\right)s + 1}. \qquad (10)$$

Schema bloc a motorului pas cu pas cu reluctanţă variabilă, care permite obţinerea funcţiei de transfer de mai sus este dată în figura 2.

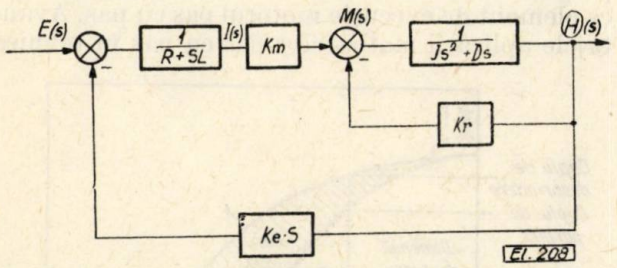


Fig. 2. Schema bloc a motorului pas cu pas cu reluctanţă variabilă.

3. Circuitul electronic de comandă

Sistemul electronic care însoţeşte motorul pas cu pas este format din două grupe dinstincte.

a) Comutatorul electronic numit şi distribuitorul de impulsuri are rolul de a asigura conectarea înfăşurărilor de comandă ale motorului în ordinea dată de impulsurile care conţin informaţia. În figura 3 se prezintă schema de principiu a comutatorului electronic al unui motor pas cu pas cu 4 faze.

După cum se vede, comutatorul electronic constă din două circuite basculante bistabile cu tranzistoare. Ca rezistenţe de sarcină pentru tranzistoare sînt folosite chiar înfăşurările motorului [4].

În paralel cu înfăşurările motorului s-a pus cîte o diodă, numită diodă de prag, care are sarcina de a scurtcircuita vîrfurile de tensiune de inducţie care se produc la întreruperea curentului.

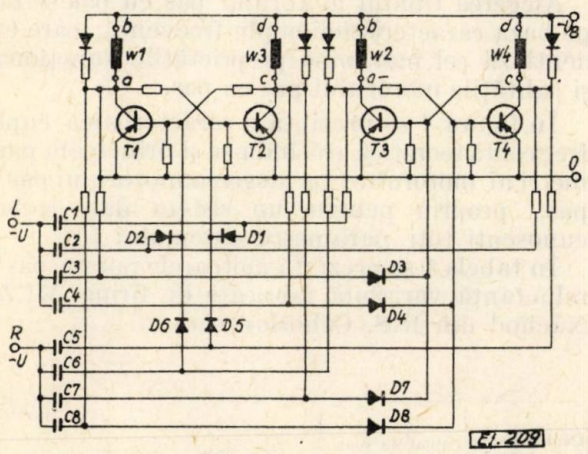


Fig. 3. Schema electronică a circuitului de comandă.

b) Etajul final de amplificare, care este format din amplificatoare montate pe fiecare fază a motorului. Pentru motoarele de putere mare etajul final este format din amplificatoare cu tiristoare. Schemele cu tristoare permit realizarea unor circuite cu ajutorul cărora se pot influenţa favorabil proprietăţile dinamice ale motorului şi se poate mări viteza de lucru.

4. Alegerea motorului. Domenii de utilizare

În ultimii ani au apărut multe instalaţii cu program, acţionate în sistem discret, care folosesc ca element de execuţie motorul pas cu pas. Avantajele aplicării motoarelor pas cu pas în tehnica

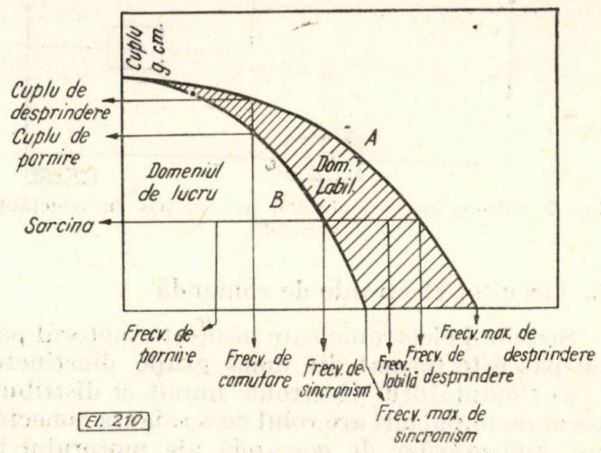


Fig. 4. Caracteristica cuplu — frecvenţă teoretică.

numerică de conducere automată, faţă de celelalte sisteme cu servomotor sînt :

— creşterea siguranţei instalaţiei, determinată de micşorarea numărului elementelor sistemului, ca şi de lipsa buclei tahometrice de reacţie ;

— reducerea preţului de cost al instalaţiei, condiţionată de reducerea numărului elementelor ;

— creşterea preciziei deplasării discrete determinată de fixarea exactă a axului rotorului motorului pas cu pas la oprirea acestuia.

Alegerea tipului motorului pas cu pas se face pe baza caracteristicii cuplu-frecvenţă, care evidenţiază cel mai bine proprietăţile funcţionale şi calităţile motorului pas cu pas.

În figura 4 se prezintă o caracteristică cuplu-frecvenţă teoretică arătîndu-se şi principalii parametri ai motorului. La alegerea motorului pas cu pas, propriu pentru un sistem dat, trebuie cunoscuţi toţi parametrii sistemului [5].

În tabela 1 se prezintă motoarele pas cu pas cu reluctanţă variabilă fabricate de firma MEZ — Náchod din R.S. Cehoslovacia.

Motoarele pas cu pas transformă informaţia electrică discretă în deplasare mecanică. Dat fiind această proprietate şi în plus faptul că tehnica numerică este acum metoda predominantă în tehnica automată [6] aplicaţiile pentru motoarele pas cu pas acoperă un domeniu extrem de larg.

Se desprind două direcţii principale de dezvoltare a motoarelor pas cu pas :

— prima cuprinzînd motoarele cu cuplu mare şi pas unghiular mic, cum sînt cele cerute pentru comanda numerică a maşinilor-unelte.

— şi a doua, cuprinzînd motoarele care au unghi de rotaţie mare la frecvenţă ridicată şi cuplu mic, necesare la tratarea informaţiilor.

De asemenea, sistemele de acţionare automată cu motoare pas cu pas pot fi şi ele împărţite în două grupe :

— prima în care motorul pas cu pas lucrează ca poziţionar, şi cuprinde următoarele domenii de aplicare : numărător numeric pe linii de producţie selector în sistemele de restabilire a informaţiilor ; dispozitive pentru controlul numeric la maşinile unelte ; dispozitive de perforat cartele ; acţionarea barelor de control ale reactoarelor nucleare, a doua, în care motorul pas cu pas lucrează ca dispozitiv cu viteză variabilă şi cuprinde următoarele domenii de aplicare : trasator de curbe ; dispozitive de acţionat hîrtia în înregistratoarele de hărţi ; sincronizatoare între maşini şi instrumentele de înregistrare.

Introducerea tot mai mult a tehnicii numerice în industrie, precum şi avantajele pe care le prezintă motorul pas cu pas în comanda numerică, face din acesta elementul de acţionare cel mai avantajos într-un domeniu larg de aplicaţii practice.

Domeniul de lucru — domeniul frecvenţelor de comutaţie în care un motor poate porni fără să piardă paşi.

Frecvenţa de sincronism — frecvenţa maximă de comutare la care un motor cu sarcină de frecare poate porni fără pierdere de paşi . Unitatea paşi/s.

Frecvenţa limită — frecvenţa maximă de comutare la care un motor neîncărcat poate porni fără pierderea de paşi. Unitatea paşi/s.

Cuplul de pornire — cuplul maxim care poate fi aplicat la axul motorului cînd porneşte la frecvenţa de sincronism. Unitatea g. cm.

Tabela 1

Cuplul maxim de lucru g. cm	Cuplul de menţinere g. cm	Tipul	Întrarea în sincronism		Ieşirea din sincronism		Unghiul de pas	Nr. de paşi pe rotaţie
			frecvenţa paşi/s	turaţia rot/min	frecvenţa paşi/s	turaţia rot/min		
20	30	SMR -428	600	640	5000	5400	6°25′	56
40	70	Z22 DJ 118	400	500	2500	3100	7°30′	48
150	230	SMR-300/100	400	300	2500	1880	4°30′	80
300	450	SMR-300-300	300	225	2500	1880	4°30′	80
400	500	Z22 LB 104	1750	440	10000	2500	1°30′	240
2500	4500	Z22 LT 105	1400	350	10000	2500	1°30′	240
4000	7200	Z22 QO 108	1000	250	10000	2500	1°30′	240
10000	13500	Z22 QX 109	550	138	5000	1250	1°30′	240

Domeniul labil — domeniul frecvenţelor de comandă în care un motor poate funcţiona într-un singur sens şi urmăreşte frecvenţa de comutare fără pierdere de paşi, dar nu poate fi pornit, oprit sau inversat la comandă.

Frecvenţa de desprindere — frecvenţa maximă la care un motor cu sarcina poate funcţiona fără pierdere de paşi. Unitatea paşi/s.

Frecvenţa maximă de desprindere — frecvenţa maximă la care un motor neîncărcat poate funcţiona fără pierdere de paşi. Unitatea paşi/sec.

Cuplul de desprindere — cuplul maxim care poate fi aplicat la axul unui motor cînd funcţionează la frecvenţa de desprindere. Unitatea g. cm.

Cuplul de menţinere — cuplul maxim constant, care poate fi aplicat din exterior la axul unui motor excitat, fără cauzarea unei oscilaţii continue. Unitatea g. cm.

Bibliografie

[1] *O'Donohue, J. P.* Transfer function of stepper motor. În : Control Engineering, nr. 11, 1961, p. 103.
[2] *Kieburtz, R. B.* The step motor — the next advance in control. În : IEEE Trans. Automatic Control, nr. 1, 1964, p. 98.
[3] * * * Four ways to use feedback with stepping motors. În : Control Engineering, nr. 8, 1967, p. 69.
[4] *Balotay, K.* Folosirea motorului pas cu pas în tehnica numerică. În : Mérés és Automatika, nr. 7—8, 1968, p. 294.
[5] *Bianculli, A. J.* Step motors : aplication and selection. În : JEEE Spectrum, nr. 12, 1970, p. 25.
[6] *King, D. S.* Step motors for digital control systems. În : Control and Instrumentation, nr. 5, 1971, p. 29.

Intrat în redacţie la 21. VII. 1972

Sinteza septuplorului feromagnetic static monofazat de frecvenţa

NORBERT ZITRON, NICOLAE TIUCĂ ŞI ALEXANDRU GAGEA*

CZ 621.314.263:621.314.637

1. Generalităţi

Circuitele neliniare au ca proprietate remarcabilă modificarea spectrului semnalului de răspuns în raport cu cel al semnalului de excitaţie. Astfel, în cazul unui semnal de excitaţie sinusoidal, semnalul răspuns este nesinusoidal, conţinînd în spectrul său armonici ale semnalului excitaţie.

Ca urmare a acestei proprietăţi multiplicarea frecvenţei constituie prima aplicaţie a circuitelor neliniare.

Relaţiile energetice generale stabilite de Manley şi Rowe [1] :

$$\begin{cases} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \dfrac{mP_{m,n}}{m\omega_1 + n\omega_2} = 0, \\ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dfrac{nP_{m,n}}{m\omega_1 + n\omega_2} = 0, \end{cases} \tag{1}$$

unde : m, n sînt numere naturale întregi, iar ω_1 şi ω_2 două pulsaţii diferite, arată posibilitatea transferului de energie pe armonici şi subarmonici prin intermediul unui element reactiv neliniar.

Dispozitivele cunoscute, care permit multiplicarea frecvenţei, sînt : multiplicatoarele feromagnetice, convertizoarele rotative şi cele cu tiristoare. Multiplicatoarele feromagnetice sînt superioare convertizoarelor rotative, în primul rînd, datorită faptului că sînt considerabil mai singure în funcţionare şi nu necesită întreţinere specială şi, în al doilea rînd, datorită faptului că într-o serie de cazuri ele sînt mai uşoare şi mai ieftine [2]. În comparaţie cu convertizoarele actuale cu tiristoare, multiplicatoarele feromagnetice sînt mai simple, mai sigure în funcţionare şi mai ieftine. Aceasta mai ales în cazul obţinerii unor frecvenţe situate sub 500 Hz °[2], [3].

2. Sinteza caracteristicilor septuplorului feromagnetic static de frecvenţă

Multiplicatoarele feromagnetice statice s-au dezvoltat pe baza posibilităţii de înlăturare a armonicelor nedorite din semnalul răspuns, înlăturare ce se obţine fie prin compensare, fie prin filtrare, fie prin utilizarea simultană a ambelor mijloace.

Prima contribuţie importantă în domeniul multiplicatoarelor de frecvenţă aparţine lui M. Joly [4], care propune schemele devenite clasice ale dublorului şi triplorului feromagnetic static de frecvenţă. Sinteza acestora este efectuată, mult mai tîrziu, în lucrarea [5]. Sinteza chintuplorului feromagnetic monofazat de frecvenţă este arătată în [6]. Contribuţiile în domeniul sintezei multiplicatoarelor de frecvenţă sînt conţinute în [7]. Un studiu amănunţit al funcţionării multiplicatoarelor de frecvenţă cu bobine neliniare comandate, mono şi trifazate, în regim de magnetizare liberă şi forţată, a fost efectuat în [8].

Multiplicatoarele feromagnetice monofazate statice de frecvenţă au randamente care variază între 50 şi 80 %. Astfel, triplorul feromagnetic monofazat are un randament de 70 — 80 %, iar multiplicatorul feromagnetic de 9 ori, de 50 — 60 % [9].

* Dr. ing. *N. Zitron* este şef de lucrări la Facultatea de electrotehnică a I. P. Iaşi, *N. Tiucă* este ing. la Uzina de autoturisme — Piteşti şi *Al. Gagea* este inginer la I.C.M.P.I.E. — Bucureşti

Lucrarea își propune sinteza septuplorului feromagnetic monofazat și analiza influenței histerezisului miezurilor și a amplitudinii semnalului de intrare asupra semnalului răspuns al acestuia.

2. Sinteza caracteristicilor septuplorului feromagnetic static de frecvență

Multiplicatoarele feromagnetice statice monofazate de frecvență sînt constituite din două ansambluri de transformatoare neliniare avînd înfășurările primare legate în serie adițional, înfășurările secundare ale acestora fiind conectate serie diferențial. Semnalul excitație se aplică înfășurărilor primare, semnalul răspuns rezultînd la bornele înfășurărilor secundare.

Pentru a rezulta o multiplicare cu șapte a frecvenței, este necesar să se obțină caracteristici răspuns-excitație de forma unui polinom Cebîșev de speța I-a și de gradul șapte [10]:

$$T_7(x) = 64x^7 - 112\,x^5 + 56x^3 - 7x. \quad (2)$$

2.1. Sinteza caracteristicilor cînd ambele mărimi de intrare sînt sinusoidale.

Deoarece funcțiile de legătură se pot obține ca polinoame de puteri iar funcția de legătură totală (caracteristica răspuns-excitație) se obține din caracteristicile elementelor separate, este util ca aceste caracteristici să fie aproximate tot prin polinoame de puteri.

În cazul septuplorului, caracteristicile celor două elemente separate se exprimă prin polinoamele:

$$y_1 = a_1x + a_3x^3 + a_5x^5 + a_7x^7, \quad (3)$$

$$y_2 = b_1x + b_3x^3 + b_5x^5 + b_7x^7, \quad (4)$$

unde:

y_1, y_2 reprezintă fluxul normat, iar x — curentul normat.

Deoarece elementele sînt legate în serie, rezultă:

$$y_i = y_1 + y_2 = (a_1+b_1)x + (a_3+b_3)x^3 + (a_5+b_5)x^5 + (a_7+b_7)x^7, \quad (5)$$

$$y_e = y_1 - y_2 = (a_1 - b_1)x + (a_3 - b_3)x^3 + (a_5 - b_5)x^5 + (a_7 - b_7)x^7. \quad (6)$$

Din condiția ca mărimea de intrare să fie sinusoidală, adică:

$$y_i = x, \quad (7)$$

se obține:

$$a_1 + b_1 = 1, \quad (8)$$
$$a_3 + b_3 = 0, \quad (9)$$
$$a_5 + b_5 = 0, \quad (10)$$
$$a_7 + b_7 = 0. \quad (11)$$

Inlocuind $x = \cos\alpha (\alpha = \omega t)$ în expresia (6), folosind relațiile de transformare a puterilor funcției trigonometrice cosinus în cosinusul unghiului multiplu și punînd condiția ca semnalul de ieșire să fie de pulsație 7ω, rezultă următoarele ecuații:

$$a_1 - b_1 + \frac{3}{4}(a_3 - b_3) + \frac{5}{8}(a_5 - b_5) + \frac{35}{64}(a_7 - b_7) = 0, \quad (12)$$

$$\frac{1}{4}(a_3 - b_3) + \frac{5}{16}(a_5 - b_5) + \frac{21}{64}(a_7 - b_7) = 0, \quad (13)$$

$$\frac{1}{16}(a_5 - b_5) + \frac{7}{64}(a_7 - b_7) = 0. \quad (14)$$

Ultima ecuație necesară se stabilește punînd condiția $\left.\frac{dy_1}{dx}\right|_{x=1} = 0$, care furnizează ecuația:

$$a_1 + 3a_3 + 5a_5 + 7a_7 = 0. \quad (15)$$

S-a obținut, deci, un sistem de opt ecuații cu opt necunoscute. Rezolvînd sistemul rezultă

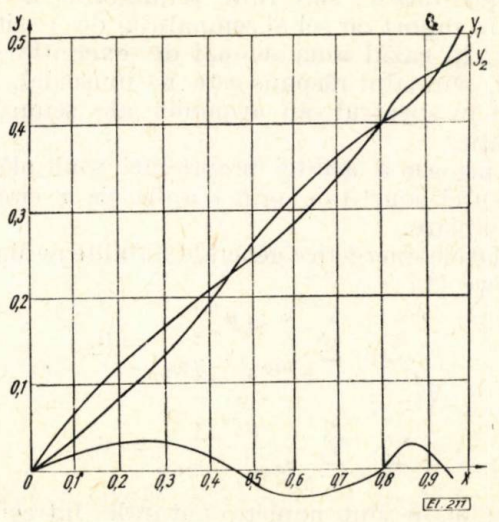


Fig. 1

valorile coeficienților polinoamelor y_1 și y_2, adică se obțin polinoamele:

$$y_1 = \frac{4}{7}x - \frac{4}{7}x^3 + \frac{8}{7}x^5 - \frac{32}{49}x^7, \quad (16)$$

$$y_2 = \frac{3}{7}x + \frac{4}{7}x^3 - \frac{8}{7}x^5 + \frac{32}{49}x^7, \quad (17)$$

a căror reprezentare este dată în figura 1.

Pentru expresia fluxului de ieșire rezultă:

$$y = -\frac{1}{49}\cos 7\alpha. \quad (18)$$

În acest caz, pentru a obține caracteristicile (16) și (17) se folosește schema din figura 2. Primul ansamblu este constituit din două transformatoare neliniare comandate, având amperspire de comandă diferite, pe cînd cel de-al doilea ansamblu, este constituit dintr-un transformator neliniar necomandat și un transformator neliniar comandat.
Deci :

$$y_1 = \frac{\Phi_I + \Phi_{II}}{\Phi_{max}}, \quad y_2 = \frac{\Phi_{III} + \Phi_{IV}}{\Phi_{max}}, \quad x = \frac{i}{I_{max}}. \tag{19}$$

Transformatorul neliniar comandat este format din două miezuri feromagnetice identice. Primarul și secundarul acestuia sînt constituite din cîte două înfășurări legate în serie, adițional. Transformatorul comandat conține și o înfășurare de comandă, alimentată în curent continuu, înfășurare în care nu se induce tensiunea de frecvență fundamentală, datorită mo-

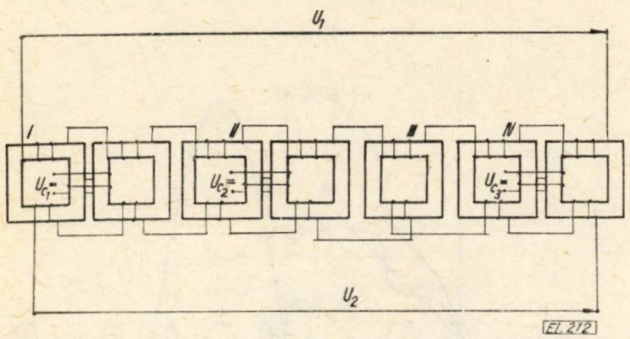


Fig. 2

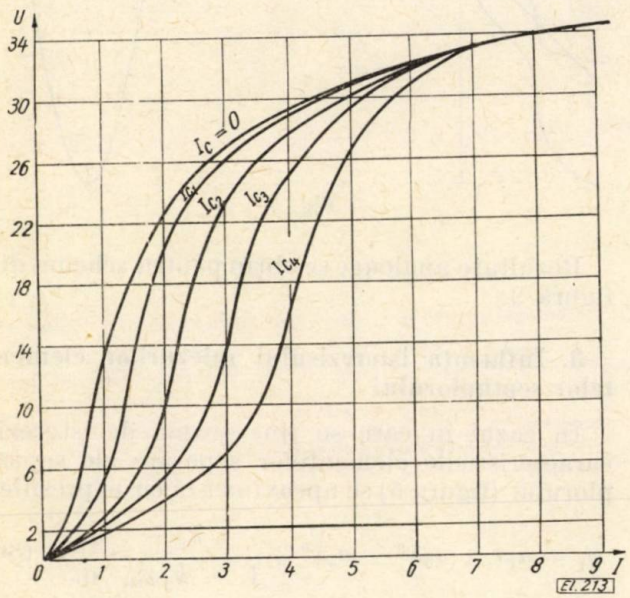


Fig. 3

dului de dispunere a înfășurărilor pe miezuri. Caracteristicile flux-curent ale primarului și secundarului transformatorului neliniar comandat au forma din figura 3.

2.2. Sinteza caracteristicilor septuplorului cînd numai una din mărimile de intrare este sinusoidală.

Se aproximează caracteristicile elementelor separate ale septuplorului prin polinoamele :

$$y_1 = a_1 x + a_3 x^3 + a_5 x^5 + a_7 x^7, \tag{20}$$

$$y_2 = bx. \tag{21}$$

În acest caz semnalul de ieșire are forma :

$$y_e = y_1 - y_2 = (a_1 - b)x + a_3 x^3 + a_5 x^5 + a_7 x^7. \tag{22}$$

Urmărind aceeași metodă ca cea expusă anterior se obține următorul sistem de ecuații :

$$\begin{cases} a_1 + \frac{3}{4} a_3 + \frac{5}{8} a_5 + \frac{35}{64} a_7 - b = 0, \\ \frac{1}{4} a_3 + \frac{15}{16} a_5 + \frac{21}{64} a_2 = 0, \\ \frac{1}{16} a_5 + \frac{7}{64} a^2 = 0, \\ a_1 + 3 a_3 + 5 a_5 + 7 a_7 = 0. \end{cases} \tag{23}$$

Rezolvînd sistemul, rezultă coeficienții polinoamelor și, deci, polinoamele :

$$y_1 = \frac{8}{7} b x - \frac{8}{7} b x^3 + \frac{16}{7} b x^5 - \frac{64}{49} x^7, \tag{24}$$

$$y_2 = bx. \tag{25}$$

În acest caz mărimile de intrare și ieșire au valorile :

$$y_i = \frac{15}{7} bx - \frac{8}{7} bx^3 + \frac{16}{7} bx^5 - \frac{64}{49} bx^7, \tag{26}$$

$$y_e = \frac{1}{7} bx - \frac{8}{7} bx^3 + \frac{16}{7} bx^5 - \frac{64}{49} bx^7. \tag{27}$$

Pentru cazul în care $b = 0{,}5$ reprezentările grafice sînt arătate în figura 4.

Pentru $x = \cos\alpha$ rezultă :

$$y_e = -\frac{b}{49} \cos 7\alpha. \tag{28}$$

Caracteristica $y_e(x)$ sintetizată în acest caz corespunde septuplorului feromagnetic monofazat din figura 5.

Cele două ansambluri sînt constituite dintr-un transformator neliniar necomandat, un transformator neliniar comandat și un transformator liniar. În acest caz :

$$y_e = -\frac{b}{49} \cos 7\alpha. \tag{29}$$

Schema din figura 5 este mai economică decît cea din figura 2, deoarece se înlocuieşte ansamblul din două transformatoare neliniare comandate cu un singur transformator liniar. Această ultimă schemă, dată pe baza unor considerente

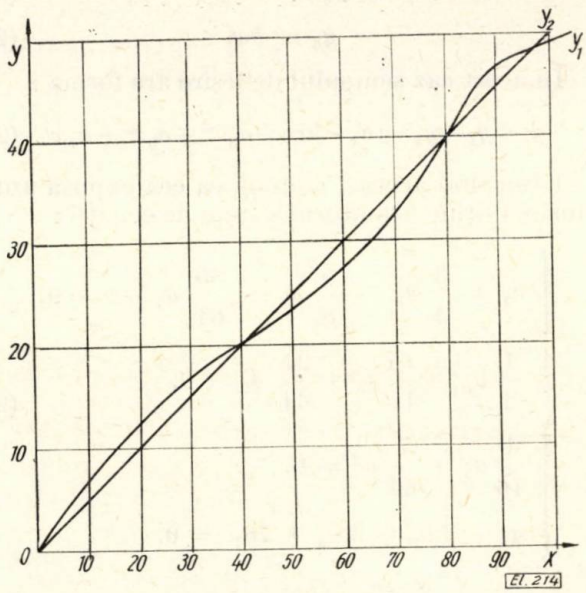


Fig. 4

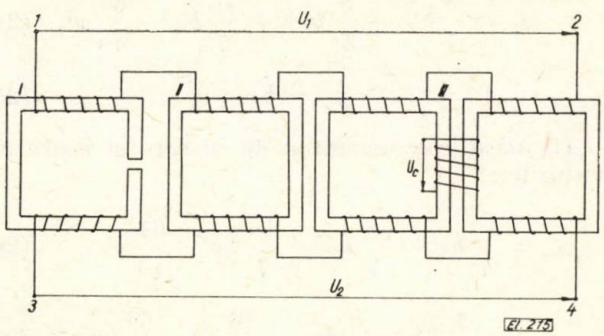


Fig. 5

grafice şi în lucrarea [6], se analizează în cele ce urmează.

Caracteristica flux rezultant secundar-curent primar se obţine ca diferenţă între caracteristicile flux-curent ale secundarelor transformatoarelor comandat şi necomandat şi caracteristica flux-curent a secundarului transformatorului liniar. Forma acestor caracteristici este dată în figura 6, din care se observă că alura caracteristicii rezultante este aceea a unui polinom Cebîşev de speţa I-i şi de gradul şapte.

Dacă se aplică primarului dispozitivului din figura 5 un curent sinusoidal, forma de variaţie a fluxului în secundar va fi aproximativ sinusoidală, de frecvenţă „7 f" (f fiind frecvenţa curentului sinusoidal de excitaţie) (figura 6).

Cu ajutorul schemei de septuplor feromagnetic se pot obţine tensiuni de ieşire nu numai de frecvenţă „7 f", ci şi de frecvenţă „5 f" sau „3 f", în funcţie de amplitudinea curentului de alimentare (figura 7).

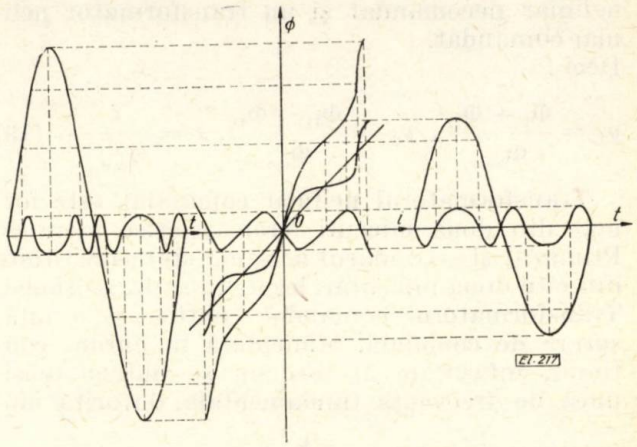


Fig. 6

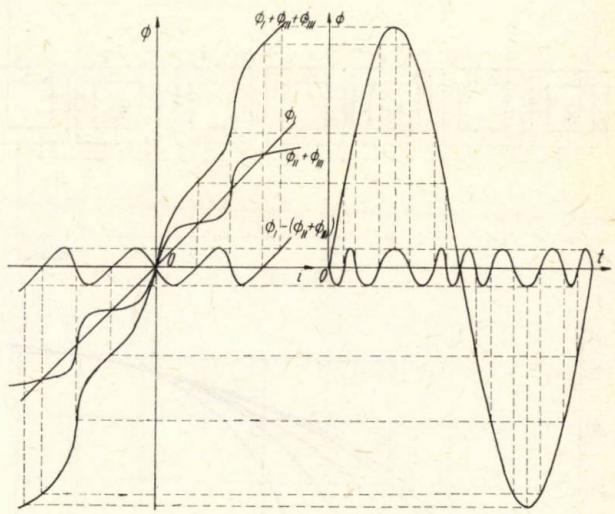


Fig. 7

Rezultate analoage se obţin pentru schema din figura 2.

3. Influenţa isterezisului miezurilor elementelor septuplorului

În cazul în care se ţine seama de isterezis caracteristicile elementelor separate ale septuplorului (figura 5) se aproximează cu expresiile :

$$y_1 = a_1 x + a_3 x^3 + a_5 x^5 + \frac{k_1}{1 + k_2 x_m^2} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (30)$$

$$y_2 = bx, \quad (31)$$

unde :

$$y_h = \frac{k_1}{1 + k_2 x_m^2} \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (32)$$

este aportul isterezisului [11].

Rezultă pentru caracteristica de ieşire a septuplorului :

$$y_e = y_1 - y_2 = (a_1 - b)x + a_3x^3 + a_5x^5 + a_7x^7 + \\ + \frac{k_1}{1 + k_2x_m^2} \cdot \frac{dx}{dt}. \quad (33)$$

Ţinînd seama de valorile determinate anterior pentru coeficienţii a_1, a_3, a_5, a_7, în funcţie de b, se obţine :

$$y_e = \frac{1}{7}bx - \frac{8}{7}bx^3 + \frac{16}{7}bx^5 - \frac{64}{49}bx^7 + \\ + \frac{k_1}{1 + k_2x_m^2} \cdot \frac{dx}{dt}. \quad (34)$$

Înlocuind $x = \cos \alpha$ rezultă :

$$y_e = -\frac{b}{49}\cos 7\alpha - \frac{k_1\omega}{1+k_2}\sin \alpha. \quad (35)$$

Rezultă că isterezisul elementelor neliniare introduce în semnalul răspuns un termen cu frecvenţa fundamentală, termen care deformează unda obţinută. Această deformare este mică în cazul miezurilor folosite la construcţia bobinelor neliniare comandate.

4. Influenţa variaţiilor amplitudinii de intrare

Se poate arăta că la o funcţie de legătură, pentru un anumit multiplicator, valoarea maximă a mărimii de intrare prezintă un optim. Pentru practică, fără modificarea parametrilor schemei, o multiplicare de frecvenţă pur armonică este posibilă numai pentru o mărime de intrare bine precizată. La o variaţie a mărimii de intrare apar în mărimea de ieşire, în afară de armonica căutată şi alte armonice.

Ca mărime de intrare optimă este definită aceea care dă naştere în mărimea de ieşire numai la armonica dorită.

Se analizează influenţa variaţiei amplitudinii de intrare asupra amplitudinii armonicelor mărimii de ieşire, în cazul septuplorului.

Se consideră :

$$x = A \cos \alpha. \quad (36)$$

Rezultă :

$$y_e = Y_1 \cos \alpha + Y_3 \cos 3\alpha + Y_5 \cos 5\alpha + \\ + Y_7 \cos 7\alpha, \quad (37)$$

unde :

$$\begin{cases} Y_1 = b\left(\frac{1}{7}A - \frac{6}{7}A^3 + \frac{10}{7}A^5 - \frac{5}{7}A^7\right), \\ Y_3 = b\left(-\frac{2}{7}A^3 + \frac{5}{7}A^5 - \frac{3}{7}A^7\right), \\ Y_5 = b\left(\frac{1}{7}A^5 - \frac{1}{7}A^7\right), \\ Y_7 = -\frac{1}{49}bA^7. \end{cases} \quad (38)$$

Reprezentările grafice ale amplitudinilor armonicelor, în funcţie de amplitudinea mărimii de intrare (A), sînt arătate în figura 8.

Se observă că valoarea optimă pentru funcţionarea ca septuplor este $A = 1$. Este de remarcat că la o abatere a amplitudinii mărimii de intrare de la valoarea optimă, amplitudinile armonicelor individuale cresc mult. Reprezentarea arată că numai pentru o anumită mărime de intrare se poate obţine o multiplicare de frecvenţă pur armonică.

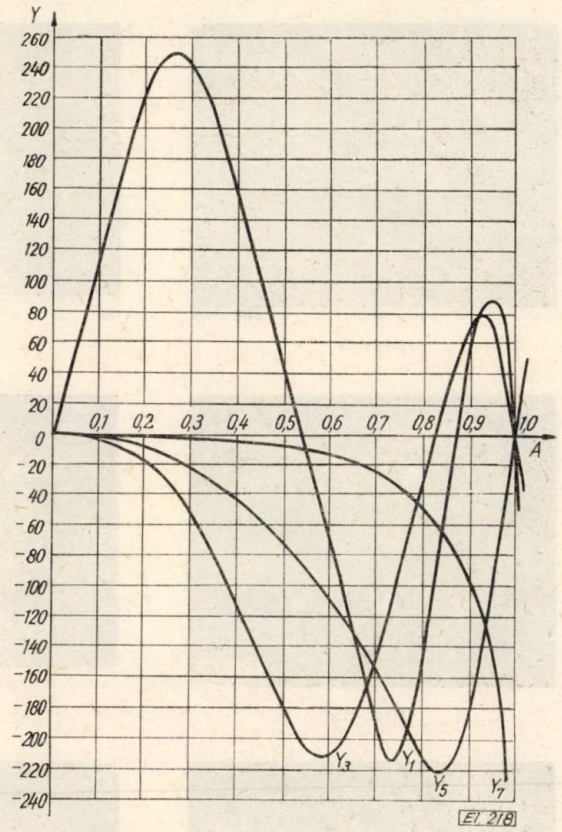


Fig. 8

Dacă se renunţă la multiplicarea de frecvenţă pur armonică atunci, prin conectarea unui circuit rezonant (în general paralel), se pot separa la ieşire diferite armonici (3, 5, 7).

Din figura 8 rezultă că semnalul de ieşire este cel mai bogat în armonica a treia pentru $A = 0{,}525$, cînd amplitudinea fundamentalei este nulă şi cel mai bogat în armonica a cincea, pentru $A = 0{,}85$, cînd, de asemenea, fundamentala este nulă. Acestea sînt punctele de funcţionare optimă ca triplor şi respectiv chintuplor ale multiplicatorului din figura 5.

Dacă se acceptă un anumit grad de armonici, atunci schema septuplorului rămîne nemodificată (figura 2 sau 5), nemai fiind însă necesare filtre pentru separarea armonicelor. În plus, valoarea mărimii de intrare poate să varieze într-un domeniu din jurul punctului optim de funcţionare.

5. Rezultate experimentale

S-a realizat, în urma unei proiectări sumare, un septuplor după schema din figura 5. Transformatorul liniar s-a realizat din Fe-Si cu întrefier reglabil, iar transformatorul neliniar necomandat şi cel comandat, s-au realizat din permalloy.

Figurile 9, 10 şi 11 prezintă formele de variaţie în timp a tensiunii de ieşire, de frecvenţă 3f, pentru $I = 6$ mA, de frecvenţă 5f, pentru $I = 12{,}1$ mA, respectiv de frecvenţă 7f, pentru $I = 23{,}7$ mA.

Aceleaşi caracteristici obţinute în urma legării unui filtru paralel, acordat pe armonica respectivă, sînt date în figurile 12, 13 şi 14.

Figurile Lissajoux, pentru aceste unde filtrate, sînt arătate în figurile 15, 16 şi 17.

Din figurile 9, 10 şi 11 rezultă că undele obţinute conţin în principal armonica a treia, a cincea şi respectiv a şaptea, dar conţin şi armonici parazite. În urma filtrării se separă uşor undele pur armonice indicate în figurile 12, 13 şi 14.

Se constată, experimental, că septuplorul funcţionează bine atît în cazul alimentării la curent sinusoidal, cît şi în cazul alimentării cu tensiune sinusoidală.

6. Concluzii

Sinteza caracteristicilor septuplorului feromagnetic static monofazat de frecvenţă este efectuată în două cazuri, arătîndu-se şi posibili-

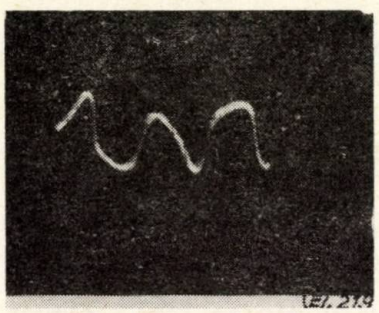


Fig. 9

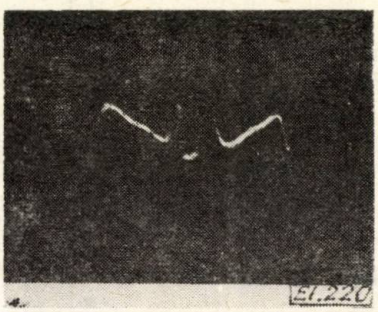


Fig. 10

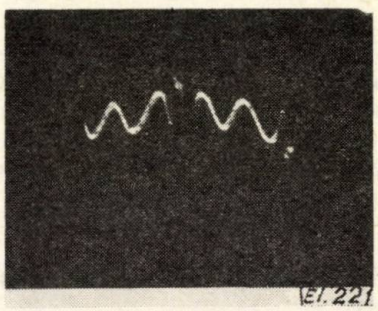


Fig. 11

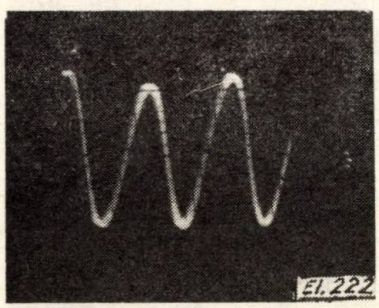


Fig. 12

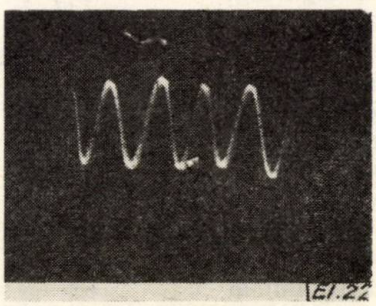


Fig. 13

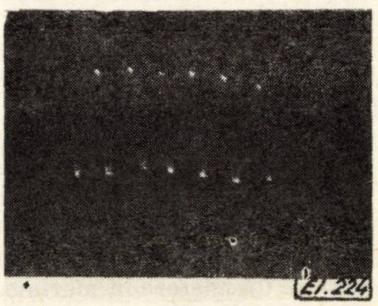


Fig. 14

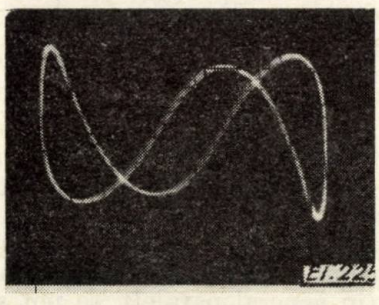


Fig. 15

Fig. 16

Fig. 17

tățile practice, aproximative, de realizare a caracteristicilor obținute.

Se arată că isterezisul miezurilor deformează semnalul răspuns printr-un termen de frecvență fundamentală, deformare mică în cazul miezurilor folosite uzual pentru realizarea bobinelor neliniare comandate.

Influența variațiilor amplitudinii de intrare asupra spectrului mărimii de ieșire este analizată cu scopul de a determina valorile optime pentru funcționarea ca triplor, chintuplor sau septuplor ale uneia din schemele sintetizate.

Multiplicatorul feromagnetic monofazat de frecvență, realizat cu schema din figura 2 sau 5, este un dispozitiv de putere mică, capabil să furnizeze un semnal de ieșire de frecvență 3f, 5f sau 7f. Poate fi utilizat la alimentarea unor dispozitive electronice, de exemplu, a modulatoarelor magnetice cu răspuns rapid.

Bibliografie

[1] *Manley. J. M., Rowe, M. E.* Some General Properties of Nonlinear Elements, Part. I. General Energy Relations. În : Proc. IRE, vol. 44, Nr. 7, 1956, p. 904—913.

[2] *Bamdas, A. M.* și alții Feromagnitnie umnojiteli ciastoti. Izd. Energhia, M., 1968, p. 7—8.

[3] *Wiegner, G.* Der magnetische Frequenzverdreifacher, Untersuchungen, Betriebstörungen und Optimierung mit Hilfe des Analogsrechners. Dissertation, T. H. Aachen, 1968, S. 5.

[4] *Joly, M.* Transformateurs statiques de fréquence. La Lumière Electrique, 1911, XIV, 20, p. 195.

[5] *Müller, Kl.* Einphasige Frequenzvervielfachung mit optimalen Vervielfachungskennlinien und ihre technische Realisierung. Dissertation, T. H. Ilmenau, 1963.

[6] *Savin, Gh., Mitrea, S., Zitron, N.* Single Phase Static Feromagnetic Frequency Multipler with an odd Multiplication Factor. Bul. I.P. Iași, XV/XIX, 1969, f. 1—2, p. 25—31.

[7] *Mitrea, S.* Contribuții la sinteza multiplicatoarelor de frecvență magnetice statice. Teză de doctorat. Inst. Politehnic Iași, 1971.

[8] *Savin, Gh., Zitron, N., Balan D.* Funcționarea multiplicatoarelor de frecvență cu bobine neliniare comandate, mono- și trifazate, în regim de magnetizare liberă și forțată. Comunicare la sesiunea facultății de electrotehnică a I.P. Iași, 21—23 dec. 1972 (sub tipar la Bul. I. P. Iași).

[9] *Geyger, W.* Dispozitive magnetice neliniare. Ed. tehnică, Buc., 1968, p. 186.

[10] *Philippow, E.* Nichtlineare Elektrotechnik. Akad. Verlag Leipzig, 1963, S. 221.

[11] *Hayashi, C.* The Influence of Hysteresis on Nonlinear Resonance. Journal of the Franklin Institute, vol. 281, Nr. 5, 1966, p. 379—386.

Intrat în redacție la 10. VII. 1972

Noul laborator de înaltă tensiune al Uzinelor Electroputere Craiova

ANDREI MARINESCU ȘI DUMITRU CÎRSTEA* — Craiova

CZ 621.317.2.027.8.095(498.21)

1. Generalități

Creșterea consumului de energie electrică constituie un imperativ al epocii contemporane. Această creștere are implicații mari asupra compartimentelor de producere, transport și consum a acestei energii. În mod deosebit influența se reflectă în creșterea vertiginoasă a tensiunii rețelelor de transport pe distanțe mari, depășind în prezent 1 000 kV.

În România au devenit deja uzuale tensiunile de 220 kV, respectiv 400 kV. Realizarea în țară a echipamentelor electrice și a instalațiilor electroenergetice de transport la aceste tensiuni nominale este indisolubil legată de existența unei baze experimentale pentru tehnica tensiunilor înalte.

În primul rînd revine sarcina oricărei uzine constructoare de astfel de echipamente, cum ar fi transformatoare, întreruptoare, separatoare, descărcătoare etc. ca la omologarea fabricației și trimiterea în exploatare să se ateste prin încercări beneficiarului garanția siguranței pe o anumită durată de funcționare, adică o fiabilitate cît mai ridicată.

După cum se cunoaște însă, în tehnica tensiunilor înalte nu toate problemele sînt clarificate în amănunțime, cum este cazul în unele din domeniile electrotehnicii aplicate.

Evident că, teoria bazată pe concepte fizice și matematice corecte, reprezintă baza dezvoltării echipamentelor electrotehnice moderne. Cunoașterea fenomenelor fizice complexe care apar, nu se poate face însă numai pe bază de raționamente și calcule, ci în mod inerent se apelează la studiile experimentale, care utilizate pe baze științifice conduc mai operativ la elucidarea problemelor necunoscute. Alteori, în abordarea unei probleme din tehnica tensiunilor înalte pornește chiar de la date experimentale. Această cale constituie totodată verificarea sigură și obligatorie a deducțiilor și calculelor teoretice deoarece înglobează complex influențele diferiților factori sau proprietăți de materiale care n-au putut fi

* Ing. *Marinescu, A.* este șeful laboratorului de înaltă tensiune de la Centrul de cercetare și proiectare Electroputere Craiova și Ing. *Cîrstea D.* este director adjunct științific la același centru.

prinse în calcul. Iată cîteva din aceste probleme [1]:

— rigiditatea dielectrică a izolației față de supratensiunile de comutație, care, se pare că determină limita de creștere a tensiunilor nominale ale liniilor de transport al energiei electrice;

— influența proprietăților aerului asupra tensiunii de străpungere a intervalelor disruptive mari;

— introducerea sistemului de transport al energiei electrice în curent continuu cu problemele aferente de coordonare a izolației. De altfel, dezvoltarea laboratoarelor la scară mondială confirmă activitatea problemelor mai sus menționate.

Crearea noului laborator de înaltă tensiune de la Uzinele Electroputere constituie o dezvoltare firească a unei baze materiale și activități, începută cu mulți ani în urmă.

Primul laborator de înaltă tensiune de la Electroputere a fost fondat în 1955, odată cu montarea unui transformator de încercare de 500 kV, 100 kVA destinat atît încercării transformatoarelor, cît și aparatajului de înaltă tensiune și unui grup de 750 kVA, 150 Hz pentru încercări cu tensiune indusă. Ulterior s-a adăugat un generator de impuls de 750 kV, 11 kWs fabricat de ICPE [2] și un transformator de 500 kV, 500 kVA, care a extins posibilitățile de încercare.

Folosind aceste utilaje s-au format cadrele de specialitate, fiind posibilă abordarea unor probleme de tehnica tensiunilor înalte [3], [4].

În anul 1962 a fost montat și pus în funcțiune un nou generator de impuls de 1,6 MV, 20 kWs, un grup de 1 600 kVA, 150 Hz, pentru încercări cu tensiune indusă și alte utilaje de stand pentru executarea probelor funcționale [5], [6]. Această bază materială completă a permis desfășurarea unei activități eficiente [7] — [29] reflectată în dezvoltarea vertiginoasă a fabricației de transformatoare de concepție proprie.

Preluată la Electroputere, tehnica modelării, abordată de ICPE [2] s-a dezvoltat constituind o metodă curentă de studiu al repartiției tensiunii de impuls în transformatoare [30] — [34].

Exportul în țări cu climat tropical a impus studiul comportării izolației și în aceste condiții [35].

Paralel cu acumularea unei experiențe valoroase în domeniul tensiunilor înalte și corelat cu perspectiva de dezvoltare a fabricației de echipament de înaltă tensiune la Electroputere, s-a trecut la analiza oportunității construirii unui nou laborator.

Elaborînd studiul tehnico-economic în 1963 s-au contractat echipamentele în 1967, iar lucrările de construcție s-au început la sfîrșitul anului 1968. Odată terminate lucrările de construcții și montaj (la sfîrșitul anului 1971), s-a trecut, în anul 1972, la punerea în funcțiune și recepționarea instalațiilor complexe.

În cele ce urmează se prezintă aspecte specifice privind alegerea utilajelor și stabilirea soluțiilor constructive pentru noul laborator de înaltă tensiune de la Electroputere Craiova.

2. Tehnologia adoptată

Dimensiunile unui laborator de înaltă tensiune sînt determinate de clasa de tensiune maximă a echipamentului de încercat, de numărul de încercări care se cere să fie făcute simultan, de dimensiunile obiectelor de încercat și de asemenea, de dimensiunile instalațiilor de încercare.

Laboratorul de la Craiova este destinat încercării echipamentului electric pînă la clasa 400 kV inclusiv, dar dimensiunile sale sînt astfel alese încît să poată fi rezolvată și problema echipamentului pentru clasa 750 kV, prin extinderea instalațiilor de încercare și folosirea cîmpului exterior de încercări.

Ținînd seama de concepțiile actuale în realizarea laboratoarelor de înaltă tensiune [36]—[43], de laboratoarele deja realizate, prezentate comparativ în tabela 1 [44] —[53], și de necesitățile concrete ale Uzinei Electroputere, s-a adoptat soluția, reprezentată schematic în figura 1, unde se distinge că hala principală a laboratorului a fost divizată în două laboratoare independente: laboratorul de înaltă tensiune propriu-zis (A) și laboratorul de încercări cu tensiune indusă (*B*).

Dimensiunile concrete au fost stabilite pornind de la ideea că în laboratorul de înaltă tensiune se va lucra cu o tensiune de impuls de 4,2 MV, cu supratensiuni de comutație de circa 2 MV și respectiv 1,2 MV tensiune alternativă, iar în laboratorul de încercări cu tensiune indusă, cu tensiuni alternative față de pămînt de circa $2 \times 750/\sqrt{3}$kV = 865 kV, la frecvențe cuprinse între 100 și 150 Hz; în ambele laboratoare tensiunile maxime putînd să fie atinse practic fără descărcări parțiale sau perturbații radio.

Acest ansamblu este dispus în imediata apropiere a fabricii de transformatoare mari pentru a se putea asigura un transport comod al acestor obiecte grele și ancombrante în stare complet montată.

2.1. Laboratorul de înaltă tensiune (A) are dimensiunile $L = 48$ m; $l = 32$ m; $h = 27$ m, care rezultă din necesitatea de a putea executa simultan 3 încercări și asigurarea distanțelor de izolație la tensiunile maxime. Pentru folosirea rațională a spațiului principalele utilaje de încercare (generatorul de impuls de 2,4 MV, 192 kWs; cascada de transformatoare de 1,2 MV, 1500 kVA și redresorul în cascadă de 1,2 MV 30 mA) sînt în execuție mobilă.

În timpul încercărilor cu tensiune alternativă și impuls, redresorul se poate retrage într-un spațiu special amenajat. Tot în execuție mobilă sînt realizate și celelalte utilaje ca: divizoarele de tensiune, instalația de ploaie artificială etc.

Tabela 1

Tabelă comparativă a dimensiunilor şi posibilităţilor limită ale laboratoarelor de înaltă tensiune existente în lume.

Nr. crt	Laboratorul	Anul	Hala principală		Tensiunea alternativă		Tensiunea impuls		Tensiune redresată	
			L×l×h m×m×m	V, m³	MV	kVA	MV	kWs	MV	mA
1	ELECTROPUTERE Craiova	1971	84×36×27	82 000	1,2	1500	2,4	192	1,2	30
2	L.I.T. Moscova	1960	74×35×35	90 000	2,25	5000	7,2	420	—	—
3	VUSE, Praga	1956	54×30×25	40 500	2,25	2250	4,0	96	—	—
4	TU, Dresden	1951	45×21×18	17 000	1,5	1500	2,0	30	—	—
5	TUR, Dresden	1949	38×50×34	63 000	2,25	5000	4,8	384	—	—
6	KWH. Hermsdorf	1968	Aer liber		2,25	5000	7,2	312	1,5	300
7	TH. München	1965	34×23×19	14 800	1,2	600	3,0	50	1,6	60
8	BBC, Mannheim	1968	42×31×25	32 000	1,2	—	3,0	130	—	—
9	SIEMENS, Berlin	1962	42×32×24	18 200	1,33	1330	3,6	90	—	—
10	Messwandlerbau, Bamberg	1968	35×23×20	15 800	1,2	1200	3,0	50	—	—
11	AEG, Kassel	1952	25×20×17	8 500	1,2	1200	3,0	32	1,7	30
12	Ohio Brass		Aer liber	—	2,0	800	5,0	234	1,2	—
13	General Electric. Pittsfield	1957	54×29×23 Aer liber	36 000 —	1,75 2,0	—	2×5,1 7,2	84 360	1,2 —	— —
14	IREQ, Hydro-Quebec	1970	82×68×50	280 000	2,1	2200	6,4	400	2,2	30
15	EdF, les Renardières	1970	66×65×45	190 000	2,2	1100	6,0	450	—	—
16	EdF, Fontenay	1949	45×23×21	24 000	1,0	2000	4,0	200	—	—
17	Alsthom-Savoisienne, Aix es Bains	1960	43×22×24	23 000	1,2	7500	4,4	175	—	—
18	Alsthom-Savoisienne, Saint-Ouen	1971	65×30×31	60 000	—	—	4,0	400	—	—
19	Micafil, Zürich	1963	24×25×20	12 000	1,6	2860	4,4	176	0,55	22
20	ELIN, Weiz	1965	48×25×22	26 400	1,4	2200	3,6	180	—	—
21	ASEA, Ludvika	1970	55×32×35	62 000	1,5	1500	4,0	375	1,0	25
22	ERA, LEATHERHEAD	1955	30×20×15	9 000	0,6	—	2,4	—	—	—
23	CESI, Milano	1957	45×40×35	63 000	2,0	1000	4,8	300	2,0	10
24	Indian Institute Bangalore	1951	40×28×31	35 000	1,05	3000	3,0	50	—	—
25	Furukawa Electric Co, Tokio	1954	30×24×20	14 000	1,05	1575	3,6	130	1,5	30

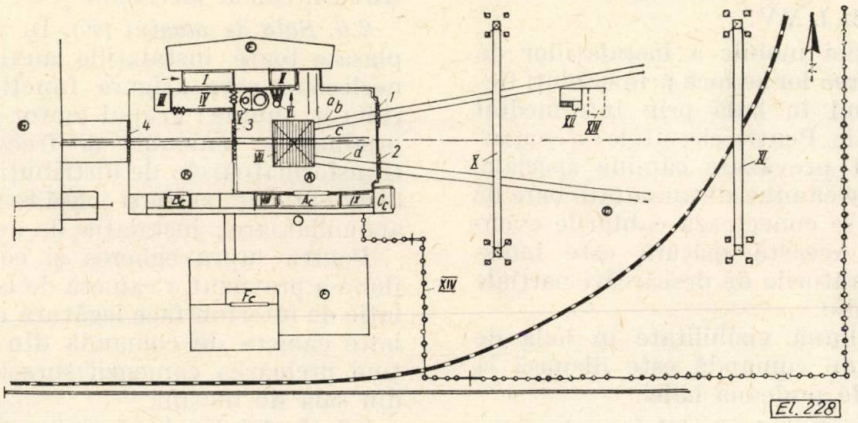


Fig. 1. Schiţa de principiu a ansamblului laborator de înaltă tensiune de la Electroputere — Craiova :

A — Laboratorul de înaltă tensiune ; *B* — Laboratorul de încercări cu tensiune indusă ; *C* — cîmpul de încercări în aer liber ; *D* — corpul camerelor de comandă ; *E* — corpul laboratoarelor de medie tensiune şi generale ; *F* — sala de maşini ; *G* — fabrica de transformatoare mari ; A_c, B_c, C_c, F_c — camere de comandă aferente instalaţi ilor din *A* , B_c, C_c, şi F_c ; 1, 2, 3, 4 — porţi de tip ghilotină pentru accesul instalaţiilor de încercarein cîmpul exterior, respectiv pentru accesul obiectelor de încercat ; *a* — cale ferată pentru deplasarea instalaţiei de 1,2 MV tensiune redresată ; *b* — idem pentru cascada de 1,2 MV tensiune alternativă ; *c* — idem pentru transportul obiectelor de încercat ; *d* — idem pentru generatorul de 2,4 MV impuls. *I* — instalaţie de impuls 500 kV ; *II* — instalaţie de tensiune alternativă 200kV ; *III* — transformator reglabil 3 MVA ; *IV* — staţie de distribuţie tensiune indusă ; *V* — cuvă de încercări în ulei ; *VI* — eclator cu sfere 1,5 m diametru ; *VII* — suprafaţa destinată încercărilor sub ploaie ; *VIII, IX* — camere pt. măsurători în înaltă frecvenţă : *X* ; *XI* — portali pt. cîmpul exterior *XII* — subsol pentru conexiuni ; *XIII* — treapta a treia a cascadei de transformatoare (extindere în viitor) ; *XIV* — grad de protecţie.

Hala dispune de un pod rulant de 50/12 t pentru lucrări de montaj și transport al obiectelor de încercat. Eclatorul cu sfere de 1,5 m diametru este astfel dispus pe un perete lateral încît să nu afecteze deplasarea podului rulant. Pentru transformatoarele de mare putere s-a prevăzut posibilitatea de deplasare direct din fabrica de transformatoare cu ajutorul unui cărucior special, autopropulsat cu o capacitate de transport pînă la 400 t.

Hala comunică cu exteriorul prin 3 porți de tip ghilotină cu două foi. Două dintre acestea (înălțime 16 m, lățime 9 m) permit deplasarea cascadei de transformatoare și a generatorului de impuls în cîmpul exterior, iar a treia (înălțime 16 m, lățime 12 m) face legătura cu hala de tensiune indusă.

Pentru studiul izolației hîrtie-ulei s-a prevăzut o cuvă specială cu un volum de circa 100 m^3, a cărei parte superioară este la nivelul pardoselii laboratorului. Alimentarea cu ulei este asigurată printr-o instalație de tratare cu un debit de circa 2 500 l/oră. Pentru obținerea vidului este de asemenea prevăzută o instalație de vid corespunzătoare. Introducerea tensiunii de încercare se realizează printr-un izolator aer-ulei cu tensiunea nominală 630 kV.

Hala este realizată fără ferestre, ținînd seama de necesitatea obținerii unei obscurități complete.

Instalația de iluminat folosește atît lămpi cu vapori de mercur, cît și lămpi cu incandescență. Iluminatul incandescent este prevăzut cu un sistem de reglare a iluminării (orgă de lumini) care permite reglarea continuă a iluminării pînă la zero.

După cum s-a arătat, din punct de vedere tehnologic laboratorul de înaltă tensiune este împărțit în trei zone care formează spații de lucru incluse în bucla de siguranță. Această împărțire se poate utiliza numai cînd tensiunea de impuls este sub 1 MV.

Datorită execuției mobile a instalațiilor de încercare alimentarea lor se face prin cabluri flexibile care pătrund în hală prin intermediul unor cămine speciale. Pentru circuitele de comandă și măsură sînt prevăzute cămine speciale. În ambele tipuri de cămine sînt montate bare de pămîntare la care se conectează cablurile eventual neutilizate. Această măsură este indispensabilă la măsurătorile de descărcări parțiale sau perturbații radio.

Pentru o mai bună vizibilitate în hala de încercări camera de comandă este dispusă la cota +4,20 față de podeaua halei.

2.2. Laboratorul pentru încercări cu tensiune indusă (*B*) are dimensiunile $L = 36$ m; $l = 32$ m; $h = 27$ m. Această hală este în special destinată încercării cu tensiune indusă a transformatoarelor de mare putere. O poartă identică cu cea care face legătura cu hala de înaltă tensiune, permite accesul transformatoarelor din fabrica de transformatoare. În hală este amplasată întreaga instalație de transformare și distribuție care asigură obținerea unei tensiuni trifazate reglabile continuu între 0 și 100 kV în domeniul de frecvență 25 la 150 Hz. În același timp este prevăzută posibilitatea introducerii acestei tensiuni în laboratorul de înaltă tensiune prin trei izolatoare aer-aer.

Comanda instalației se face dintr-o cameră de comandă specială.

2.3. Cîmpul de încercări în aer liber (*C*) prevăzut a fi construit într-o etapă ulterioară. El va servi pe de o parte pentru încercări la echipamente cu tensiuni nominale de 750 kV și mai mari, și pe de altă parte pentru studiul izolației externe cu ajutorul unei linii aeriene experimentale. În acests cop s-au prevăzut să se execute două portale între care se va amplasa linia experimentală cu multiple posibilități de reglare. Pentru crearea unui sistem trifazat de tensiuni alternative ($3 \times 600 \cdot \sqrt{3}$ kV) este de asemenea prevăzut, ca pe platforma în aer liber, să se amplaseze un al treilea element de cascadă.

2.4. Corpul camerelor de comandă (*D*) —reprezintă o clădire amplasată pe latura de sud a laboratorului în care sînt amenajate camerele de comandă pentru cîmpul exterior, pentru laboratorul de înaltă tensiune și pentru hala de tensiune indusă. Sub camerele de comandă este dispus un pod de cabluri în care pătrund circuitele de măsură și control.

2.5 Corpul laboratoarelor de tensiuni medii și generale (*E*) reprezintă o clădire amplasată pe latura de nord a laboratorului. La parterul acesteia sînt dispuse instalația de impuls de tensiune de 500 kV 4,4 kWs și instalația de curent alternativ de 200 kV 100 kVA.

La celelalte nivele ale clădirii sînt amplasate laboratoare de materiale electrotehnice, electronică, calcul electronic etc.

2.6. Sala de mașini (*F*). În aceasta sînt amplasate toate instalațiile auxiliare electrice și neelectrice care asigură funcționarea laboratorului și anume: grupul motor-generator pentru producerea tensiunii și frecvenței reglabile; transformatoarele de distribuție; instalațiile de distribuție de înaltă și joasă tensiune; bateria de acumulatoare; instalația de aer comprimat.

Pentru supravegherea și comanda instalațiilor s-a prevăzut o cameră de comandă; o instalație de interfon face legătura operativă cu celelalte camere de comandă din laborator permițînd preluarea comenzii surselor de alimentare din sala de mașini.

2.7. Instalația de pămîntare. Pentru realizarea unei astfel de instalații, într-un laborator de înaltă tensiune, se impun următoarele condiții: asigurarea unui potențial de referință pe cît posibil mai apropiat de potențialul unei zone de pămînt neutre în orice regim de funcționare (staționar sau tranzitoriu); asigurarea unei

repartiții cît mai uniforme a potențialului pe podeaua halei de înaltă tensiune.

Realizarea acestei instalații a fost descrisă pe larg în [29]. Aici se va indica numai faptul că pe toată suprafața laboratorului s-a creat o rețea uniformă de prize de pămînt care constă din 44 prize de adîncime, care pătrund în sol pînă la nivelul mediu al apei freatice, distanțate una față de alta la circa 6 m, realizate din țeavă din oțel zincată de 2 țoli.

Legăturile de echipotențializare sînt executate din platbandă de oțel zincată. În afara prizelor de pămînt forate special, s-au folosit și prizele naturale pe care le reprezintă armăturile de oțel ale stîlpilor de susținere a halei.

În regim staționar se obține astfel o rezistență de punere la pămînt suficient de mică (cca 0,1Ω la un curent alternativ cuprins între 20 și 60 A) și se poate considera că întreaga instalație de pămîntare se află la același potențial.

În regimul tranzitoriu care apare la funcționarea generatorului de impuls de tensiune, pentru a asigura o repartiție cît mai uniformă a curentului de impuls, s-a folosit faptul că hala de înaltă tensiune este ecranată electromagnetic creîndu-se prin ecranul de pardoseală un așa numit „pămînt de suprafață". Măsurătorile efectuate au arătat că în regim tranzitoriu rezistența de punere la pămînt este de circa 3Ω pentru unde de impuls cu front de circa 1 μs.

Prin realizarea pămîntului de suprafață se obține totuși în orice punct al halei aceeași rezistență de punere la pămînt.

Pentru legarea la pămînt a instalațiilor de încercare sau a obiectului de încercat au fost realizate circa 15 puncte de racord care s-au obținut prin sudarea la capătul unor prize de adîncime a unor plăci de oțel argintate de 500 × 500 mm și grosimea de 20 mm. În acestea s-au făcut 20 găuri filetate, pentru realizarea legăturilor la pămînt.

2.8. Ecranarea electromagnetică. Laboratorul de înaltă tensiune, sălile de încercări pentru impuls 500 kV și frecvența industrială 200 kV ca și camerele de comandă aferente sînt ecranate electromagnetic. Ecranarea electromagnetică s-a introdus pe de o parte pentru a putea măsura perturbațiile radio și descărcările parțiale produse de echipamentul electric de încercat, iar pe de altă parte pentru a evita perturbarea laboratoarelor din vecinătate, care utilizează aparatură electronică sau calculatoare.

Modul în care a fost realizată practic ecranarea electromagnetică a laboratorului de la Craiova a fost tratat detaliat în lucrarea [54]. Ca material s-a folosit tabla expandată de oțel care se fabrică curent în țară: de 2 mm cu ochiuri de 63×20 mm pentru pardoseală (formînd în același timp „pămîntarea de suprafață" de 1 mm cu ochiuri de 6,3×16 mm pentru pereți și tavan. Prin utilizarea tablei expandate în locul tablei pline, pe lîngă faptul că s-a făcut o economie de cîteva zeci de tone de metal, s-a reușit să se dea și un aspect estetic corespunzător spațiilor de încercare. Porțile în execuție metalică au fost înzestrate pe toată lungimea cu contacte duble la distanță de circa 100 mm.

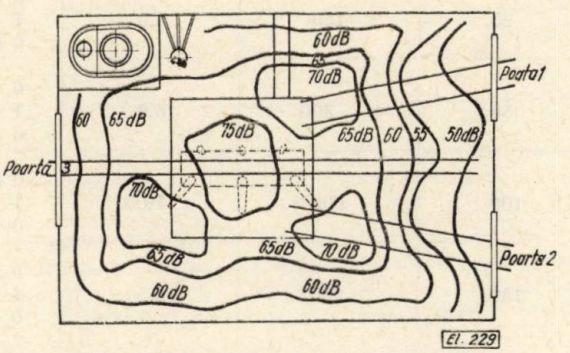


Fig. 2. Curbe de egală atenuare a cîmpului electric la frecvențe de 1,3 MHz în laboratorul de înaltă tensiune.

Măsurătorile de atenuare introduse de ecran, efectuate cu ajutorul unor aparate de măsurat perturbații în domeniul de frecvență de 150 kHz ÷ 1 MHz (care interesează la măsurarea descărcărilor parțiale) au indicat o atenuare maximă de circa 75 dB la frecvența de 1,3 MHz în mijlocul geometric al halei de înaltă tensiune.

Pentru caracterizarea cît mai bună a instalației de ecranare electromagnetică s-au ridicat curbe de egală atenuare a cîmpului electric (fig. 2). Ele permit să se evidențieze faptul că pe cea mai mare parte a suprafeței halei, atenuarea este mai bună de 60 dB. Regiunea cu atenuarea cea mai redusă este cea din apropierea porților către cîmpul exterior.

3. Alimentarea cu tensiune și frecvență reglabilă a instalațiilor de încercare de curent alternativ

În acest scop în sala de mașini este amplasat un grup motor-generator care constă dintr-un generator sincron trifazat cu parametrii din tabela 2, și două motoare de antrenare de curent continuu. Schema de principiu a instalației este dată în figura 3.

Cele două motoare de acționare, fiecare de 1150 kW (M_1), sînt legate electric în serie atît pe partea indusului cît și pe partea de excitație. Alimentarea lor se face de la trei redresoare comandate cu vapori de mercur în cuvă metalică de tip excitron hexafazat ($E_1E_2E_3$) conectate în paralel prin bobine de reactanță de egalizare.

Protecția pe partea de curent continuu este asigurată prin întreruptoare ultrarapide de tip Gearapid (I_1, I_2, I_3). Modificarea turației între 150 și 500 rot/min se realizează prin

Tabela 2

Parametrii generatorului de tensiune şi frecvenţă reglabilă instalat în sala maşinilor

Frecvenţa Hz	Turaţia rot/min	Tensiune kV	cos. φ	Regim trifazat		Regim monofazat	
				putere MVA	curent A	putere MVA	curent A
Funcţionare de durată							
25	150	3,0	0 subex.	1,2	230	0,69	230
			1	0,55	106	0,55	183
			0 supraex.	0,78	150	0,45	150
50	300	6,0	0 subex.	2,4	230	1,38	230
			1	1,1	106	1,1	183
			0 supraex.	1,56	150	0,9	151
100	600	10,5	0 subex.	2,1	115	1,2	115
			1	0,96	53	0,96	91,5
			0 supraex.	1,67	91,5	0,96	91,5
150	900	10,5	0 subex.	2,1	115	1,2	115
			1	0,96	53	0,96	91,5
			0 supraex.	1,67	91,5	0,96	91,5
Funcţionare de scurtă durată (2 minute)							
150	900	12,6	0 subex.	5,0	230	2,9	230
			1	2,1	96	2,1	167

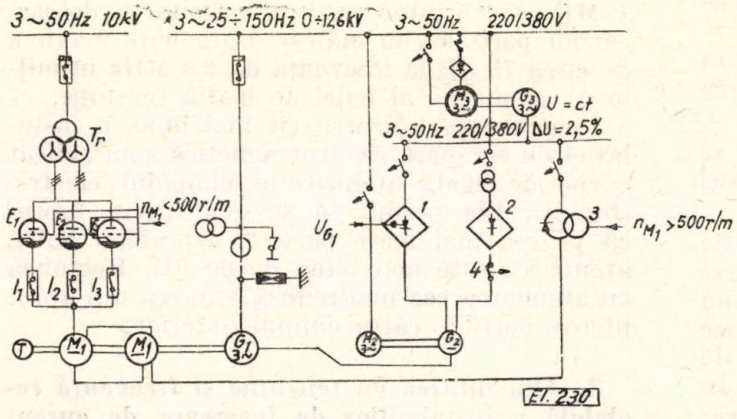


Fig. 3. Schema de principiu a grupului motor-generator pentru producerea tensiunii şi frecvenţei reglabile :

M_1 — motor de c.c cu excitaţie separată 1 150 KV, 600 V, 150—900 r/m ; G_1 — generator sincron 5 MVA (2 min), 25—150 Hz ; M_2 — motor asincron 75 kW ; G_2 — generator de c.c 113 V, 450 A ; M_3 — motor asincron sincronizat 56 kW ; G_3 — generator sincron de tensiune constantă 220/380 V, $\Delta U = 2{,}5\%$; $Tr.$ — transformator tri-hexafazat 4 MVA 10 / 1,2 kV ; E_1, E_2, E_3 — redresoare cu vapori de mercur de tip excitron ; I_1, I_2, I_3 — întreruptoare ultrarapide de c.c ; T — tahogenerator ; *1* — regulator de tensiune cu tiristoare (excitaţie) ; *2* — redresor (contraexcitaţie) *3* — regulator cu amplificatoare magnetice (excitaţie motoare M_1) ; *4* — contactor dezexcitare rapidă.

reglarea tensiunii indusului la cuplul constant şi între 500 şi 900 r/m prin slăbirea cîmpului la putere constantă. În acest scop se foloseşte un regulator automat de tip analog-digital care acţionează atît asupra comenzii pe grilă a excitroanelor (reglarea tensiunii) cît şi asupra înfăşurărilor de comandă ale amplificatoarelor magnetice din circuitul de excitaţie.

Generatorul este de construcţie specială (G_1) producînd o undă de tensiune sinusoidală cu un conţinut total de armonici de maximum 2%. Excitaţia generatorului este asigurată de un grup separat de excitaţie, format dintr-un motor asincron trifazat de 75 kW (M_2) şi un generator de curent continuu (G_2) care posedă două înfăşurări de excitaţie. Una dintre acestea serveşte pentru excitaţie iar cealaltă pentru contraexcitaţie. Ambele sînt dimensionate pentru 150 V, 5 A la funcţionarea de durată, însă înfăşurarea de contraexcitaţie poate fi solicitată pentru 2—3 s, cu 400 V şi 15 A.

Înfăşurarea de contraexcitaţie este utilizată în două scopuri şi anume :

— asigură reglarea tensiunii generatorului începînd de la valoarea zero, pentru evitarea fenomenelor de rezonanţă la aplicarea bruscă a tensiunii de remanenţă (situaţie des întîlnită la încercările de transformatoare mari cu tensiune indusă) ;

— asigură dezexcitarea rapidă a generatorului sincron în caz de avarie.

De fapt schema instalaţiei de încercare cu tensiune indusă şi aplicată (cascada de 1,2 MV) se bazează tocmai pe funcţionarea perfectă a sistemului de dezexcitare rapidă întrucît pentru evitarea supratensiunilor de deconectare, în caz de avarie intră în funcţiune dezexcitarea rapidă şi abia în apropierea trecerii prin

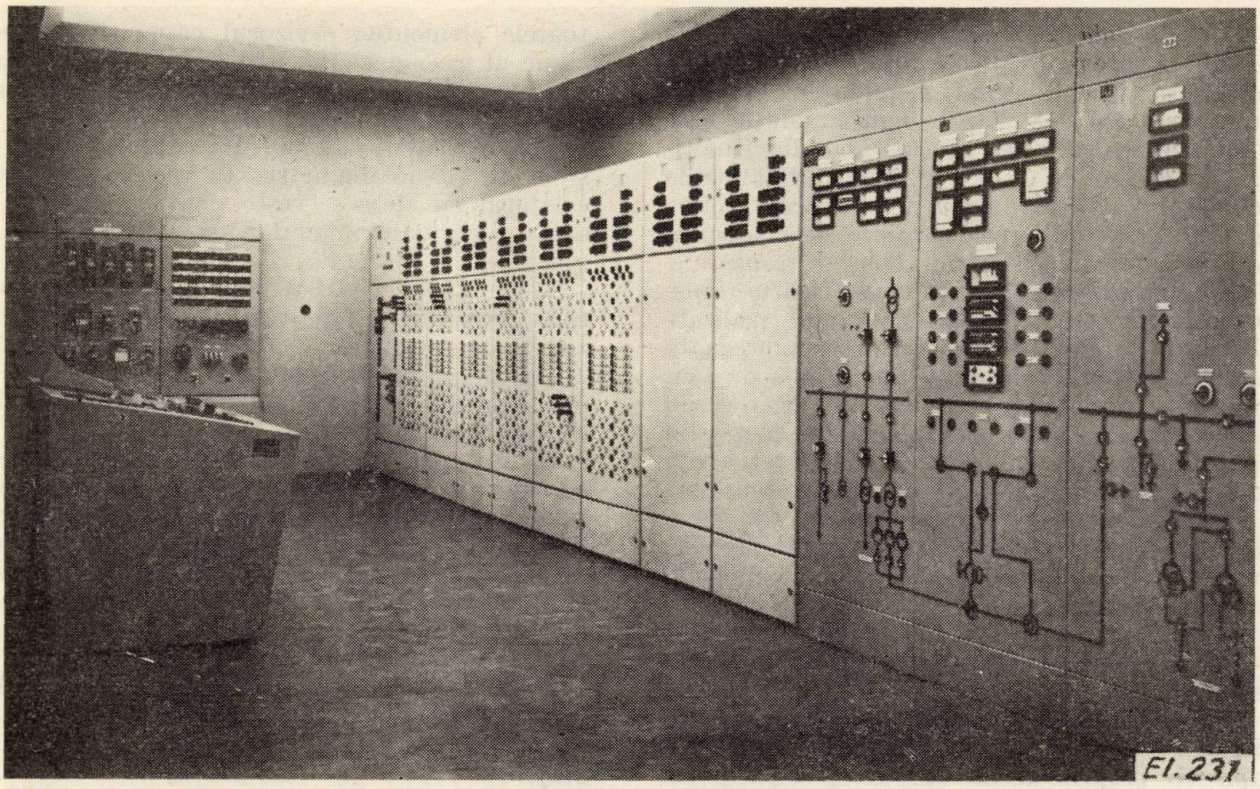


Fig. 4. Camera de comandă a instalaţiilor din sala maşinilor

zero a tensiunii la bornele generatorului întreruptorul de protecţie este declanşat.

În afara grupului motor-generator pentru deservirea laboratoarelor de încercări este prevăzută o instalaţie de experimentare care produce următoarele tensiuni reglabile : 220 V curent continuu, de la o baterie de 10 Ah ; 24 V curent continuu, de la o baterie similară ; 0—550 V, 100 A curent continuu, de la un redresor cu tiristoare ;
0—525 V, 80 kVA curent alternativ trifazat de la un transformator reglabil ; 0—380 V, 38 kVA curent alternativ monofazat, de la un transformator reglabil.

Aceste tensiuni pot fi transmise în laboratoare printr-o instalaţie de repartitoare care este amplasată în camera de comandă a sălii maşinilor.

În figura 4 se prezintă o fotografie de ansamblu a camerei de comandă din sala maşinilor în care se distinge de la stînga spre dreapta pupitrul de comandă şi panourile de protecţie şi semnalizare ale grupului motor-generator, cele 12 cîmpuri ale instalaţiei de repartitoare şi schema sinoptică a instalaţiei de forţă.

4. Scurtă descriere a echipamentului de încercare

Prin fotografia din figura 5 se obţine o vedere de ansamblu în laboratorul de înaltă tensiune.

În afara utilajelor de încercare, din fotografie se mai disting : un transformator de 90 MVA, 242/66 kV aşezat pe căruciorul autopropulsat pentru transportul obiectelor grele, camerele de observare pentru vizitatori, studenţi sau recepţioneri (fig. 5), camera de comandă a instalaţiilor (în spatele generatorului de impuls) şi poarta de tip ghilotină prin care se face legătura cu hala de tensiune indusă. Se distinge, de asemenea, gradul de protecţie inclus în bucla de siguranţă care permite lucrul simultan în mai multe puncte din hală şi modul de realizare a ecranării electromagnetice din panouri aparente de tablă expandată.

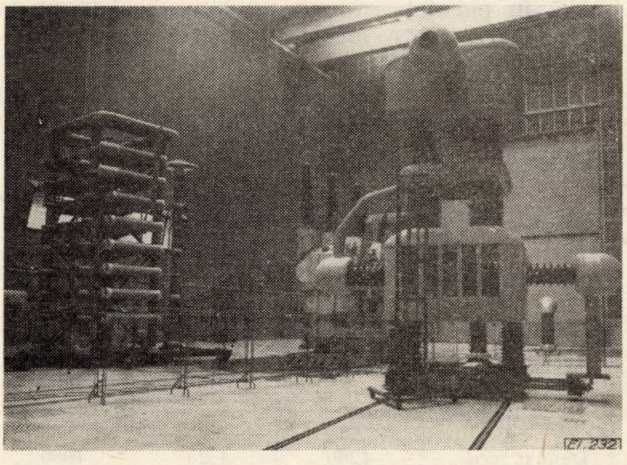


Fig. 5. Vede re de ansamblu în laboratorul de înaltă tensiune

4. 1. Cascada de transformatoare 1200 kV/ /1500kVA este realizată de firma TuR Dresden în soluţia „turn" avînd elementele cascadei suprapuse. Este de fapt singura soluţie economică în cazul unei execuţii mobile. Înălţimea totală este de circa 9 m. Transformatoarele (identice) sînt de tipul cu două treceri izolate (orizontale) avînd cuvele şi miezurile magnetice la jumătatea potenţialului treptei respective.

Înfăşurarea de înaltă tensiune a fiecărui transformator constă din două bobine realizate stratificat pe cilindrii moi de hîrtie impregnată în ulei. Datorită rezistenţei la impuls de tensiune (care devine necesară la conturnarea sau străpungerea obiectului de încercat) a acestui tip de bobinaj, cascada lucrează fără rezistenţă de amortizare pe partea de înaltă tensiune.

Înfăşurarea de excitaţie constă din două părţi care pot fi conectate în serie sau în paralel; în acest fel se obţine de exemplu o mai bună adaptare a tensiunii de scurtcircuit la condiţiile de încercare. Tensiunea de scurtcircuit a unui element al cascadei este 4% iar a cascadei cu două elemente în serie 12,0%.

Miezul transformatoarelor este prevăzut cu întrefier astfel încît este compensat curentul capacitiv propriu al cascadei cît şi o parte din curentul de sarcină. În vederea compensării mai complete a curentului capacitiv în sarcină, pe partea de joasă tensiune a cascadei este prevăzută o bobină de reactanţă de 800 kVA, reglabilă. Controlul compensării se face prin compararea curenţilor absorbiţi înainte şi după bobina de reactanţă.

Pentru a evita apariţia armonicelor în tensiunea de încercare datorită circuitului rezonant format de reactanţa de dispersie a cascadei în capacitatea totală a instalaţiei (capacitatea proprie + capacitatea obiectului de încercat), pe partea de joasă tensiune este introdus un filtru LC care fiind prevăzut cu prize poate reduce conţinutul de armonice impare 3, 5 şi 7.

Din tabela 3 se observă posibilităţile multiple pe care le oferă cascada prin funcţionarea în serie, în paralel, sau cu un singur element la diferite frecvenţe cît şi capacitatea de suprasarcină la funcţionarea de scurtă durată.

Măsurarea tensiunii de încercare se realizează în mod continuu cu ajutorul unui voltmetru de vîrf care poate fi conectat la unul din următoarele elemente: divizorul capacitiv de tensiune al cascadei (160 pF) cu care se pot măsura tensiuni pînă la 1200 kV; condensatorul cu gaz comprimat tip MCF 60/600 (pînă la 600 kV); calota de măsură a eclatorului cu sfere de 1,5 m diametru. În afară de aceasta eclatorul cu sfere serveşte pentru etalonare şi control periodic al etalonării voltmetrului de vîrf.

Voltmetrul de vîrf WMUT—3 permite măsurarea separată a amplitudinii alternanţelor pozitivă sau negativă. Precizia de măsurare depinde de condensatorul de măsură folosit şi este cuprinsă între 1 şi 2,5% în întreg domeniul de tensiune şi de la 25 la 150 Hz.

În vederea măsurării descărcărilor parţiale cu tensiune aplicată, nivelul descărcărilor parţiale proprii la funcţionarea în cascadă, este limitat la valori mai mici decît 0,25 mV, valori de vîrf la tensiunea de 500 kV în cazul măsurării în bandă largă (20 kHz — 1 MHz), sau mai mici decît 15 μV în cazul măsurării în bandă îngustă la o frecvenţă de 0,5 MHz.

4.2. Generatorul de impuls de 2,4 MV, 192 kWs. Este o construcţie clasică (TuR Dresden) cu patru coloane, dispunînd în etapa actuală de 8 etaje cu o tensiune de încărcare de 300 kV, fiecare etaj are 8 condensatoare în paralel de cîte 72 nF fiecare.

Redresorul (dublor de tensiune, dublă alternanţă cu elemente redresoare din seleniu), generatorul de impuls şi divizorul RC paralel (care formează şi capacitatea de sarcină C = 1125 pF) se pot deplasa simultan pe calea ferată cu ecartamentul de 2870 mm printr-un sistem de acţionare cu motor electric. Pentru amorsarea comandată a generatorului ambele sfere din primul etaj al generatorului posedă electrod de comandă. În acest fel se asigură o funcţionare identică la ambele polarităţi ale tensiunii de impuls.

Deplasarea eclatoarelor de înscriere se face axial iar distanţa dintre acestea este transmisă printr-un „arbore electric" la pupitrul de comandă.

Este posibilă funcţionarea parţială a generatorului de impuls cu un număr mai mic de etaje şi, de asemenea, prin conexiuni serie-paralel se poate conserva energia maximă de 192 kWs pentru tensiuni maxime de 600 kV, respectiv 1200 kV.

Tabela 3

Capacitatea de suprasarcină a cascadei de transformatoare 1 200 kV/1 500 kVA

Schema de conexiuni	Scurtă durată (4 h)				Scurtă durată (1h)			
	50 Hz		150 Hz		50 Hz		150 Hz	
	U, kV	*I*, A	*U* kV	*I*, A	*U*, kV	*I*, A	*U*,kV	*I*, A
Un element	600	1,5	500	1	600	3	500	1,9
Două în paralel	600	3	500	2	600	2	500	3
Două în serie	1200	1,25	1000	0,5	1 200	1,8	1000	0,7

Pe lîngă unda de impuls 1,2/50 μs, prin schimbarea rezistențelor de încărcare, de front și de spate, generatorul poate produce unde lungi de tipul 250/2500 μs. În acest caz suma tensiunilor de încărcare la funcționarea cu 8 etaje în serie este micșorată la circa 1,8 MV.

Măsurarea tensiunilor de impuls se face cu voltmetrul de vîrf care lucrează împreună cu unul din următoarele divizoare de tensiune:

— divizor RC paralel cu frecvența de rezonanță de 1 MHz care servește pentru măsurarea și înregistrarea undelor de impuls pline.

Eliminînd rezistențele R, același divizor, de data aceasta pur capacitiv, servește pentru măsurarea și înregistrarea undelor lungi;

— divizor R compensat (10 kΩ) cu frecvența de rezonanță mai mare decît 5 MHz care servește pentru măsurarea și înregistrarea undelor de impuls tăiate pe spate sau pe front. Tensiunea maximă a acestui divizor este de 2 MV. Lungimea maximă a cablului coaxial de racord este de 20 m.

Ambele divizoare pot fi comutate pe partea de joasă tensiune în raport 1 : 2 : 4.

Voltmetrul de vîrf asigură o precizie de ±1,5% la măsurarea undelor de impuls, a undelor lungi și a undelor tăiate între 0,8 și 25 μs; în cazul undelor de impuls tăiate pe front între 0,3 și 0,8 μs eroarea de măsurare este de circa 3%.

Practic toate măsurătorile se fac cu voltmetrul de vîrf, eclatorul cu sfere servind numai ca mijloc de verificare periodică. Înregistrarea fenomenelor de impuls se face cu ajutorul unui oscilograf Haefely model 72 E cu 2 fascicule, cu dispozitiv de fotografiere și automatizarea operațiunilor de înregistrare a etalonării de timp și amplitudine. Foarte utilă la acest oscilograf este posibilitatea de a lucra simultan cu două durate de baleiaj diferite.

Automatizarea desfășurării probelor cu impulsuri de tensiune. Pentru creșterea randamentului de lucru, a preciziei de măsurare și a reproductibilității rezultatelor mai ales la lucrările de cercetare s-a prevăzut o instalație de automatizare care este prezentată schematic în figura 6 și care constă din următoarele elemente principale:

— dispozitivul de sincronizare 2 care realizează declanșarea comandată a generatorului de impuls și a două oscilografe de impuls. Cele trei etaje de întîrziere sînt independente unul de celălalt și produc întîrzieri cuprinse între 0 și 1000 μs. Dispersia timpului de întîrziere este mai mică decît ±0,1 μs pentru întîrzieri pînă la 10 μs și mai mică decît ±1% pentru întîrzieri mai mari. Tot în acest dispozitiv este prevăzut un generator de tact care asigură o declanșare periodică a generatorului la un interval între impulsuri reglabilă între 1 și 30 s. Numărul de impulsuri poate fi ales în prealabil între 1 și 100. După aplicarea numărului prestabilit, redresorul de încărcare este deconectat automat de la rețea;

— dispozitivul de comandă a amplitudinii 1 are rolul de a comanda încărcarea generatorului de impuls în funcție de starea de încărcare și de tensiunea de încercare prestabilită, și, la atingerea acestei valori, de a produce un impuls

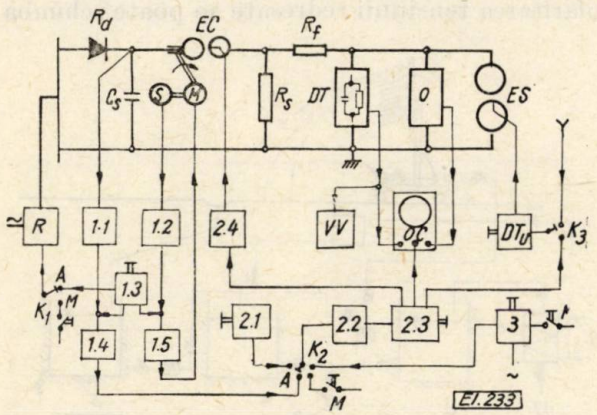


Fig. 6. Schema de principiu a automatizării funcționării generatorului de impuls de 2,4 MV:

R_d — redresor; C_s, R_s, R_f — generator de impuls de tensiune; EC — eclator comandat; DT — divizor de tensiune; M — motor de acționare pentru distanța între eclatoarele de înseriere; S — selsin; O — obiect de încercat; ES — eclator cu sfere cu electrod de comandă; R — reglare tensiune încărcare VV — voltmetru de vîrf; OC osilograf catodic; DT — dispozitiv de tăiere a undei de impuls; A — funcționare automată; M — funcționare manuală; K_1, K_2, K_3, — comutatoare mod de lucru; *1* — dispozitiv de reglare automată a distanței între sfere și a tensiunii de încărcare în funcție de tensiune de impuls necesară; *1.1* — traductor tensiune încărcare; *1.2* — traductor distanță între sfere; *1.3* — valoare impusă tensiune de încărcare; *1.4* — regulator automat tensiune încărcare; *1.5* — regulator automat distanța între sfere; *2* — dispozitiv de sincronizare; *2.1* — generator de tact; *2.2* — numărător de impulsuri; *2.3* — dispozitiv de întîrziere variabilă; *2.4* — amplificator final *3* — dispozitiv de comandă în fază a tensiunii de impuls.

de comandă care se transmite dispozitivului de sincronizare pentru declanșarea generatorului. În același timp dispozitivul asigură reglarea automată a intervalului disruptiv dintre eclatoarele de înseriere la o valoare cu circa 10% mai mare decît cea corespunzătoare tensiunii de încărcare prestabilite pentru a permite funcționarea comandată. Valoarea de referință a tensiunii de încărcare este preluată de la un divizor ohmic existent în redresor iar valoarea de referință a distanței între eclatoare de la un potențiometru special amplasat în dispozitivul de acționare a eclatoarelor de înseriere. În cazul în care tensiunea de încărcare depășește cu 5% valoarea prestabilită, redresorul de încărcare este separat de la rețea și declanșarea generatorului blocată. Precizia de reglare a amplitudinii la impulsuri succesive este mai bună decît ±1%;

— dispozitivul de comandă în fază, 3, are rolul de a asigura prin intermediul dispozitivelor precedente declanșarea generatorului de impuls la o fază prestabilită a unei tensiuni alternative a cărei frecvență poate fi cuprinsă între 25 și 150 Hz. Acest dispozitiv este foarte util atunci cînd se studiază comportarea izolației la acțiunea simultană a două forme de tensiuni. Precizia reglării fazei este de ±3° electrice.

4.3. Instalaţia de tensiune redresată 1200 kV, 30 mA. Tensiunea redresată este produsă într-o schemă de multiplicare Greinacher, conţinînd patru etaje de 300 kV. Reglarea tensiunii se face în mod continuu printr-un transformator reglabil amplasat pe partea de alimentare. Ca redresor se folosesc elemente de seleniu în aer. Polaritatea tensiunii redresate se poate schimba

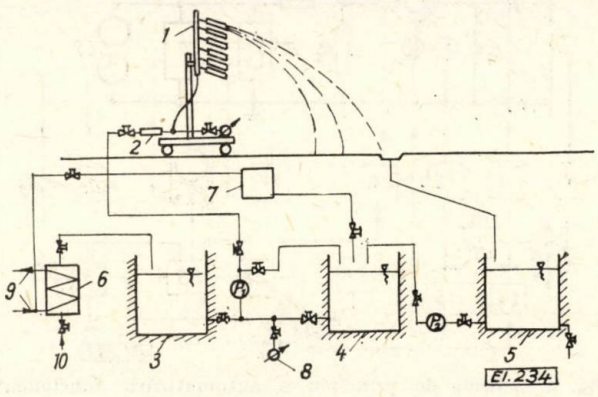


Fig. 7. Schema de principiu a instalaţiei de ploaie artificială : *1* — suport mobil reglabil ca înălţime înzestrat cu duze pentru realizarea ploii artificiale; *2* — filtru; *3* — rezervor apă distilată (10 000 l); *4* — rezervor de amestec; *5* — rezervor recuperare (10 000 l); *6* — instalaţie de distilare a apei 110 l/h; *7* — rezervor saramură (500 l); *8* — măsurător de conductibilitate a apei; *9* — racord apă răcire *10* — racord abur 4 a t; P_1P_2 — electropompe.

de la distanţă printr-o comandă electrică. Este de asemenea, prevăzut un dispozitiv de punere la pămînt care intră în funcţiune automat la scoaterea din funcţiune a instalaţiei. Măsurarea tensiunii se face la ieşire printr-un divizor ohmic de 1000 Mohmi. Pulsaţia tensiunii redresate este mai mică decît 5% la curentul de 30 mA.

Această instalaţie este, de asemenea, în execuţie mobilă. În caz de neutilizare ea poate fi retrasă în spaţiul special prevăzut în acest scop pe peretele de nord al laboratorului.

4.4. Instalaţia de ploaie artificială. Reprezintă un echipament clasic pentru încercarea izolaţiei externe într-un laborator de înaltă tensiune.

Instalaţia realizată la Craiova este executată conform normelor SEV şi CEI [55], [56], [57] şi asigură încercarea sub ploaie pînă la clasa de izolaţie 400 kV inclusiv. Bătaia jeturilor reprezintă circa 8 m pentru o înălţime medie a suportului duzelor de 12,5 m (distanţa între obiectul de încercat şi suportul duzelor fiind de 6 m). Duzele utilizate sînt executate din sticlă pentru evitarea coroziunii şi la rîndul lor sînt introduse în suporturi de material plastic.

Tuburile de distribuţie a apei sînt realizate din PVC. Prin existenţa unor ventile de reducţie pe fiecare etaj de duze se poate face o reglare exactă a presiunii, asigurîndu-se ca jeturile etajelor să fie paralele. Pentru obţinerea unor intensităţi şi lăţimi diferite ale jetului, există 3 suporturi diferite şi anume : 14 etaje a cîte 13 duze fiecare ; 7 etaje a cîte 26 duze fiecare ; 2 etaje a cîte 52 duze fiecare.

În figura 7 se dă schema de principiu a instalaţiei de preparare a apei, amplasată în subsolul laboratorului.

Apa distilată cu conductibilitatea sub 10 μS/cm este păstrată într-un rezervor de 10 000 l. Într-un alt rezervor similar este asigurat amestecul apei distilate cu o soluţie de clorură de sodiu pentru a obţine conductibilitatea necesară în timpul încercării (pompa P_1 asigură transferul acesteia în instalaţia propriu-zisă). Un al treilea rezervor de 10 000 l serveşte pentru recuperarea din hală a apei uzate care după separarea uleiului şi a impurităţilor este din nou trimisă cu ajutorul pompei P_2 în rezervorul de amestec.

Măsurarea debitului ploii la obiectul de încercat se poate face chiar sub tensiune cu ajutorul unui stativ special ; în acest mod se poate controla obiectiv modificarea traiectoriei jeturilor sub tensiune.

4.5. Instalaţia de 200 kV curent alternativ este adăpostită într-o încăpere specială ecranată electromagnetic şi prevăzută cu o grindă rulantă de 3,2 t.

Transformatorul de încercare de tip PEOI 100/200 are o putere de 100 kVA la 200 kV şi este practic lipsit de descărcări parţiale. Acest mic laborator serveşte în special pentru lucrări de cercetare fiind înzestrat cu toată aparatura necesară în acest scop şi anume ; voltmetru de vîrf cu condensatorul de măsură aferent, de tip MCF 60/300 P ; eclator cu sfere orizontal cu diametrul de 25 cm ; punte Schering pentru capacităţi şi tg δ cu înregistrare automată (Siemens) ; aparat pentru determinarea rigidităţii dielectrice a uleiului de transformator etc.

Reglarea tensiunii se face prin intermediul unui transformator reglabil acţionat de un motor electric a cărui turaţie poate fi modificată şi deci reglată viteza de creştere a tensiunii.

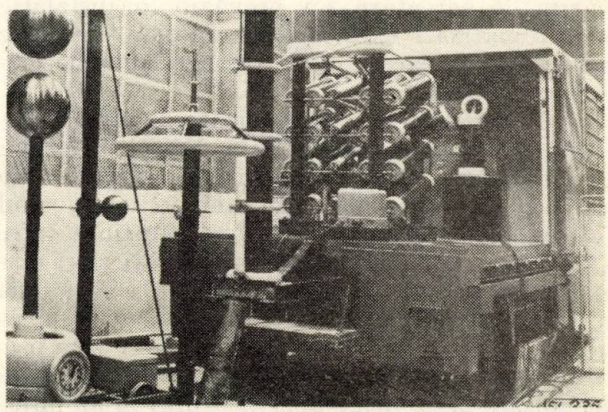


Fig. 8. Instalaţia mobilă de impuls 500 kV, 4,4 kWs

4.6. Instalaţia de 500 kV impuls. Această instalaţie posedă, de asemenea, o încăpere sepa

rată cu acces direct către exterior. Generatorul de impuls este montat pe o remorcă de autocamion, fiind astfel posibilă deplasarea în uzină sau în afara acesteia în caz de necesitate (fig. 8).

Generatorul de impuls are 4 etaje cu tensiunea de încărcare de 125 kV/etaj şi o energie maximă de 4,4 kWs. Instalaţia este complet independentă posedînd : voltmetru de vîrf pentru impulsuri singulare; divizor RC paralel; divizor R compensat; eclator cu sfere cu diametrul de 500 mm ; dispozitiv de tăiere a undei de impuls etc.

Înregistrarea tensiunilor şi curenţilor de impuls se face cu ajutorul unui oscilograf AEG tip O18 cu două fascicule.

Cu ajutorul acestei instalaţii se fac atît încercări de dezvoltare (pe materiale electroizolante) cît şi probe de omologare la echipamentul pînă la 35 kV inclusiv.

4.7. Instalaţia de tensiune indusă. Utilizînd tensiunea reglabilă produsă de grupul motor-generator din sala de maşini la frecvenţe cuprinse între 25 şi 150 Hz, în hala de tensiune indusă s-a realizat o staţie de transformare cu multiple posibilităţi, conform schemei de principiu din figura 9 prin care se pot obţine tensiuni mono- şi trifazate pînă la 64 kV la 50 Hz şi pînă la 128 kV la 150 Hz. Ca o particularitate trebuie remarcat faptul că întreaga instalaţie este ecranată electromagnetic.

Elementul esenţial al schemei este transformatorul special executat la Electroputere care, la o putere de durată de 3 MVA şi o tensiune de scurtcircuit de 1,65%, face adaptarea tensiunii generatorului la tensiunea necesară încercării. În acest scop este posibilă reglarea tensiunii sub sarcină şi schimbarea conexiunii din serie în paralel fără tensiune.

Pentru mărirea preciziei de măsurare se folosesc trei transformatoare de tensiune pentru 15,35 şi 110 kV şi, de asemenea, transformatoare de curent pentru curenţi nominali cuprinşi între 15 şi 300 A. Acţionarea întregii scheme se face electro-pneumatic din camera de comandă şi poate fi urmărită pe o schemă sinoptică. Instalaţia permite încercarea cu tensiune indusă a transformatoarelor şi autotransformatoarelor mono- şi trifazate, cu o putere maximă de 400 MVA la care înfăşurarea de joasă tensiune sau înfăşurarea terţiară este prevăzută pentru o tensiune nominală de maximum 66 kV indiferent de tensiunea nominală a celorlalte înfăşurări. Prin modul cum este realizată instalaţia timpul de executare a montajului este redus la minimum : se face legătura înfăşurării de joasă tensiune a transformatorului cu izolatoarele de trecere de 35 sau 110 kV prin cabluri flexibile iar la faza încercată pe partea de înaltă tensiune se conectează divizorul de tensiune capacitiv urmat de voltmetrul de vîrf. Controlul tensiunii pe partea de înaltă tensiune este obligatoriu întrucît la frecvenţa de 150 Hz capacitatea proprie a transformatorului de încercat determină o creştere de tensiune în secundar de circa 10—15% faţă de cea dată de raportul de transformare.

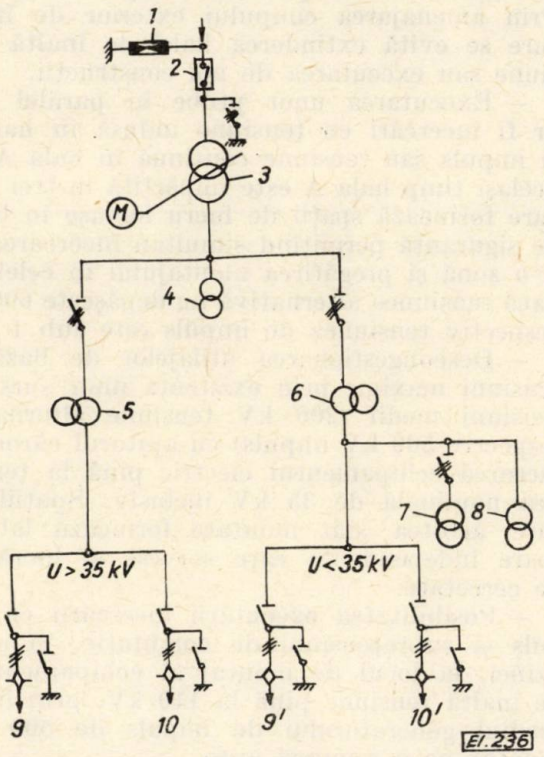


Fig. 9. Schema de principiu a instalaţiei de tensiune indusă :

1 — descărcător cu rezistenţă variabilă 15 kV; *2* — întreruptor IO — 20 kV; *3* — transformator de adaptare 3 MVA 2 × 22, 5 ± 13 × × 1,445/6 kV, 50 Hz sau 2 × 45 ± 13 × 2, 89/12 kV, 100 — 150 Hz; *4* — transformator de tensiune TEMU 110 kV; *5* — transformator de curent CESU 110 kV; *6* — transformator de curent CIRS 35 kV 15 — 300 A/5A; *7* — transformator de tensiune TIRB — 20; *8* — transformator de tensiune TMU 35; *9,9'* — racorduri prin izolatoare aer-aer în hala de tensiune indusă (B); *10,10'* — idem în hala de înaltă tensiune (A)

5. Concluzii

Noul laborator de înaltă tensiune de pe lîngă Uzina Electroputere Craiova corespunde celor mai înalte exigenţe, ca bază experimentală în domeniul tehnicii tensiunilor înalte şi are următoarele caracteristici :

— Hală de înaltă tensiune A de dimensiuni mari şi corespunzător ecranată electromagnetic (atenuarea medie mai bună decît 60 dB) pentru studiul descărcărilor parţiale, nivelului de paraziţi radio, etc.

— Dotarea cu echipament de încercare şi măsurare permite atacarea şi rezolvarea tuturor problemelor legate de încercarea şi dezvoltarea echipamentului de înaltă tensiune pînă la 400 kV tensiune nominală.

— Execuţia mobilă a instalaţiilor de încercare care permite obţinerea distanţelor de izolaţie necesare la tensiuni maxime, precum şi posibilitatea deplasării în cîmpul exterior de încercare.

— Posibilitatea măririi performanţelor existente ale laboratorului de la 2,4 MV la 4,8 MV impuls, respectiv de la 1,8 la 3,6 MV supratensiuni de comutaţie şi de la 1,2 MV la 1,8 MV sau $3\times600\ \sqrt{3}$ kV tensiune alternativă, prin extinderea sau completarea utilajelor existente. Prin amenajarea cîmpului exterior de încercare se evită extinderea halei de înaltă tensiune sau executarea de noi construcţii.

— Executarea unor probe în paralel cum ar fi încercări cu tensiune indusă în hala B şi impuls sau tensiune continuă în hala A. În acelaşi timp hala A este împărţită în trei zone care formează spaţii de lucru incluse în bucla de siguranţă permiţînd simultan încercarea într-o zonă şi pregătirea montajului în celelalte, dacă tensiunea alternativă nu depăşeşte 600 kV respectiv tensiunea de impuls este sub 1 MV.

— Descongestionarea utilajelor de bază cu tensiuni maxime prin existenţa unor surse de tensiuni medii (200 kV tensiune alternativă respectiv 500 kV impuls) cu ajutorul cărora se încearcă echipamentul electric pînă la tensiunea nominală de 35 kV inclusiv. Spaţiile în care acestea sînt montate formează laboratoare independente care servesc şi lucrărilor de cercetare.

— Posibilitatea executării încercării cu impuls şi supratensiuni de comutaţie, în afara uzinei, la locul de montaj al echipamentului de înaltă tensiune pînă la 110 kV, prin intermediul generatorului de impuls de 500 kV, montat pe o remorcă auto.

— Existenţa unei instalaţii de experimentare care produce tensiuni reglabile şi a unui sistem de repartitoare prin care se distribuie operativ aceste tensiuni în diferite săli de laborator a permis organizarea corespunzătoare a unor laboratoare auxiliare cum ar fi : scheme de izolaţie, electronică aplicată, calcule şi modelări, materiale magnetice, etc.

Bibliografie

[1] *Fischer, A.* Hochspannungslaboratorien im In-und Ausland. În : ETZ-A 90 nr. 25, 1969, p. 656—662.

[2] *Hortopan, G.* Tehnica impulsului în laboratorul de înaltă tensiune. Bucureşti, Editura Tehnică, 1965 p. 247.

[3] *Căpraru, F., Costina, D., Cîrstea D., Marx, A.* şi *Mathé, B.* Încercările transformatoarelor de forţă la impuls de tensiune. În : Electrotehnica 6, 1958, p. 291—302.

[4] *Costina, D., Marx, A .* şi *Máthé, B.*, Studii experimentale privind nivelul de izolaţie la impuls de tensiune a seriei noi de transformatoare de 110 kV. În : Electrotehnica 7, nr. 11, 1959, p. 388—395.

[5] *Mathe, B., Costina, D.* şi *Marinescu, A.* Încercarea transformatoarelor. Vol. I (Încercarea izolaţiei). Bucureşti, Editura Tehnică, 1966.

[6] *Cîrstea, D., Ambrozie, C., Udangiu, Gh.* şi *Truţă, C.* Încercarea transformatoarelor. Vol. II (Încercări funcţionale). Bucureşti, Editura Tehnică, 1967.

[7] *Costina, D., Máthé, B.* şi *Stanciu, V.* Studii asupra izolaţiei echipamentului electric de 110 kV, fabricat în R.P.R. În : Electrotehnica 10, nr. 8 (1962), p. 304—313.

[8] *Costina, D., Máthé, B.* şi *Stanciu V.* Studii privind problema reducerii nivelului de izolaţie al echipamentului staţiilor de 110 kV. În Studii şi cercetări de energetică, seria A-Energetică generală şi electroenergetică, Tomul XIII, nr. 1, 1963, p. 141—170.

[9] *Costina, D., Marinescu, A., Máthé, B.*, şi *Stanciu, V.* Cercetări experimentale privind încercarea transformatoarelor de putere la unda de impuls. În : Cercetări tehnice-Electroputere, dec. 1963.

[10] *Marinescu, A.* şi *Costina, D.* Transformatoare de impuls de mare putere pentru scheme de comandă. În : Comunicări tehnice-Electroputere, iunie 1963, p. 41.

[11] *Máthé, B.*, Încercarea la impuls de tensiune a transformatoarelor. IDT, Bucureşti, 1964, 123 pag.

[12] *Máthé, B., Marinescu, A.* şi *Costina, D.* Încercarea izolaţiei transformatoarelor de putere şi de măsură la tensiune sinusoidală. Bucureşti, IDT, 1964, p. 120.

[13] *Máthé, B., Costina D.* şi *Marinescu, A.* Încercarea izolaţiei transformatoarelor cu tensiune continuă înaltă. Bucureşti IDT, 1964, 33 pag.

[14] *Máthé B.*, şi *Marinescu, A.* Metode şi utilaje de măsurare a tensiunilor înalte de impuls, utilizate la Electroputere şi studii pentru ridicarea preciziei acestora. În : Comunicări tehnice Electroputere, mai 1965, p. 30—38.

[15] *Costina, D.* şi *Marinescu, A.* Dispozitive de sincronizare pentru instalaţii de impuls de tensiune. Calcul şi construcţie. În : Electrotehnica 13 nr. 4, 1965 p. 139—150.

[16] *Máthé, B.* şi *Marinescu, A.*, Simulator de defect tranzistorizat. În : Comunicări tehnice-Electroputere nr. 3, 1965, p. 61.

[17] *Marinescu, A.* şi *Costina, D.* Dispozitive de sincronizare pentru instalaţiile de impuls de tensiune. IDT Colecţia ,,Din experienţa uzinelor noastre" 1966, 45 pag.

[18] *Marinescu, A.* Măsurarea descărcărilor parţiale la aparatele electrice de înaltă tensiune. În : Comunicări tehnice-Electroputere, nr. 4, 1967, p. 38—47.

[19] *Marinescu, A.* Tiratroane cu hidrogen în circuitul de baleiaj al oscilografului Trüb Täuber. În : Comunicări tehnice-Electroputere nr. 4, 1967, p. 73.

[20] *Marinescu, A.* Divizor de tensiune capacitiv pentru 1000 kV. În : Comunicări tehnice Electroputere, nr. 4, 1967, p. 76—78.

[21] *Marinescu, A.* Dispozitiv electronic pentru declanşarea în fa zăa generatorului de impuls de tensiune. În : Comunicări tehnice Electroputere, nr. 4, 1967, p. 90—91.

[22] *Marinescu, A.* Centrala de lumină pilpîitoare pentru protecţia muncii pe standurile de probă. În : Comunicări tehnice Electroputere, nr. 4, 1967, p. 94.

[23] *Marinescu, A.* Dispozitive de măsurare, control şi protecţie în instalaţii de înaltă tensiune. Colecţia ,,Metode avansate de muncă", 1967, 56 pag.

[24] *Marinescu, A.* şi *Popescu, S.*, Ciclul de histereză al nivelului de descărcări parţiale — indiciu asupra stării izolaţiei transformatoarelor, În : Electrotehnica, 16 nr. 2, 1968, p. 41—48.

[25] *Liculescu, M., Cîrstea, D., Marinescu, A.* şi *Răducan, I.* Realizări şi perspective în fabricaţia de transformatoare de putere. În : Electrotehnica, 17, nr. 7—8, 1969, p. 276—287.

[26] *Marinescu, A.*, Producerea supratensiunilor de comutaţie prin inducţie electromagnetică în transformatorul de încercat. În : Comunicări tehnice Electroputere, nr. 5, 1970, p. 209—237.

[27] *Marinescu, A.* şi *Marinescu, E.* Consideraţii privind comanda optică cu inerţie redusă în instalaţiile de încercare. În : Electrotehnica 18, 1970, nr. 12, p. 462—468.

[28] *Marinescu, A.* şi *Gaber, E.* Dispozitiv de sincronizare optică a unui generator de înaltă tensiune. În : Electrotehnica 19, nr. 11, 1971, p. 408—411.

[29] *Marinescu, A.* şi *Popescu, S.* Instalaţia de pămîntare a laboratorului de înaltă tensiune al UEPC. În : Electrotehnica 20 nr. 1, 1972, pag. 9—15.

[30] *Ambrozie, C.* Utilizarea modelării transformatoarelor de putere pentru studierea comportării la impuls de tensiune. Partea I şi II. În : Comunicări tehnice Electroputere, dec. 1963, p. 31—36 şi dec. 1964, p. 16—22.

[31] *Răducan, I., Máthé, B.*, şi *Ambrozie, C.* Cercetarea pe modele, a comportării la impuls de tensiune a autotransformatoarelor de 400 MVA 400 kV. Sesiunea de Comunicări tehnice Electroputere 1967, Craiova, România.
[32] *Máthé, B.* şi *Răducan, I.* Studiul repartiţiei tensiunii de impuls pe înfăşurările serie-paralel ale autotransformatoarelor. În : Electrotehnica, 16, nr. 9, 1968, p. 351—356.
[33] *Máthé, B.* şi *Răducan I.* Calculul solicitărilor izolaţiei transformatoarelor de înaltă tensiune şi mare putere cu borna de intrare la mijlocul înfăşurării. În : Electrotehnica, 17, nr. 1, 1969, p. 18—24.
[34] *Răducan, I.* Contribuţii la calculul repartiţiei iniţiale a tensiunii de impuls în transformatoare de putere utilizînd calculatoare cifrice; sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice, consacrată aniversării a 50 de ani de la crearea P.C.R., a Institutului de cercetări energetice. Bucureşti, 6—8 mai, 1971.
[35] *Burdulea, C., Stanciu, V.* şi *Máthé, B.* Klimaschutzprüfung an Werkstoffen für elektrotechnische Erzeugnisse des rumänischen Werkes Elektroputere. În : Zeitschrift Klimaschutz nr. 4, 1964.
[36] *Kind, D.* Hochspannungstechnik heute. În : ETZ-B 21 nr. 3, 1969, p. 49—53.
[37] *Prinz, M.* Warum Hochspannungsprüffelder, În : ETZ-B 21 nr. 4, 1969, p. 73—78.
[38] *Obenaus, F.* Die Bedeutung der Laboratorien der Hochspannungs-und Hochleistungstechnik. În : Elektrie 13 nr. 9, 1964, p. 257—256.
[39] *Prinz, H., Feuer, Blitz* und *Funke*, F. Bruckmann Verlag München, 1965.
[40] *Popescu, Ch.* Soluţii moderne în utilarea şi realizarea laboratoarelor de tehnica tensiunilor înalte. Lucrările I.C.P.E. nr. 16, 1966, p. 54—64.
[41] *Schlosser, K.* Marksteine des Transformatorenbaues BBC-Nachrichten 48 nr. 9, 1966, 10, p. 534—549.
[42] *Aigner, V.* Transformatoren. În : ETZ-A **89**, nr. 19/20, 1968, p. 482—488.
[43] *Gary, C.* Nature et amplitude des contraintes d'essais diélectriques à prévoir pour les futurs matériels à très haute tension. În : RGE 80 nr. 10, 1971, p. 761—767.
[44] *Kucéra, Y.* L'instalation du laboratoire pour hautes tensions de l'Institut Energetique de Bèchovice. În : L'industrie lourd Tchecoslovaque nr. 5, 1957, p. 37—48.
[45] *Prinz, H.* Das neue Institut für Hochspannungs und Anlagentechnik der Technischen Hochschule München. În : ETZ-A 84 nr. 22, 1963, p. 709—717.
[46] *Gsodam, H.* Das neue Hochspannungslaboratorium und Transformatorenprüffeld der Elin-Union im Werk Weiz. ÖZE 19 nr. 5, 1966, p. 230—237.
[47] *Läpple, H.* Das Versuchsfeld für Hochspannungstechnik des Schaltwerks der Siemens-Schuckertwerke. În : Siemens Zeitschrift nr. 5, 1966, p. 428—435.
[48] *Heyne, V.* Erweiterung des Transformatorenprüffeldes und Neubau eines Hochspannungslaboratoriums BBC-Nachr. **51**, nr. 2, 1969, p. 67—73.
[49] *Schöne, K., Streubel, H., Reuter, H.* şi *Schubert, H.* Das Hochstspannungs-Freiluft — Versuchsfeld. În : Hermsdorfer Technische Mitteilungen 1969, nr. 26, p. 810—832.
[50] *Myklebust, R.*, et *Wennerlund, E.* Le laboratoire haute tension de Ludvika, În : ASEA Revue **43** nr. 1, 1971, p. 11—14.
[51] *Leroy, G., Bouillard, J—G., Gallet, G.* şi *Simon M.* Essais diélectriques et très hautes tensions. Le laboratoire à très haute tension des Renardières. În : R.G.E. **80** nr. 10, 1971, p. 768—777.
[52] Le Laboratoire des THT de la Societé Alsthom-Savoisienne. În : R.G.E. 80 nr. 11, 1971, p. 882.
[53] *Raupach, F.*, MWB-Hochspannungslaboratorium. Prospect al firmei Messwandlerbau Bamberg.
[54] *Marinescu, A.* Ecranarea electrometrică a laboratorului de înaltă tensiune de la Electroputere Craiova. În: Electrotéhnica 21, nr. 5, 1973 p. 169—180.
[55] Eine neue Kapillardüsen-Beregnungsanlage des SEV zur Ermittlung der Regenüberschlagspannung. În : Bull. SEV **45** nr. 14, 1964, p. 561—570.
[56] *Frischmann, W.* Eine neue Beregnungsanlage für Isolatoren bis 380 kV. În : Elektrie **16**, nr. 1, 1962, p. 17—20.
[57] CEI 60/1970. High voltage test techniques.

Intrat în redacţie la 23. I. 1973

Cu privire la calculul registrelor de deplasare tritact cu ferite

ION POPA — Timişoara*

CZ 621.318.34:681.14

Este cunoscută din literatura de specialitate utilitatea circuitelor cu miezuri de ferită cu ciclul de histerezis dreptunghiular, excitate cu impulsuri de curent, în realizarea schemelor de automatizare şi a calculatoarelor.

O clasă aparte a acestor circuite o formează registrele de deplasare şi în particular, registrul de deplasare tritact cu ferite (fig. 1), a cărui analiză se precizează în lucrarea de faţă.

Utilizînd trei miezuri pentru un rang binar, registrul de deplasare tritact dă posibilitatea să se elimine complet informaţia inversă. Astfel, presupunînd că în procesul de transmitere a informaţiei, miezul M_2 se află în stare de remanenţă magnetică $+ B_r$, iar restul miezurilor în starea $-B_r$, sub acţiunea impulsului de tact i_{T2} miezul M_2 trece în starea $- B_r$, miezul M_1 este menţinut în starea iniţială $- B_r$, datorită impulsului i_{T1}, iar miezul M_3 este comutat în starea $+B_r$. Se poate uşor arăta că procesele electro-magnetice de comutaţie, ce au loc în registrul tritact, pot fi analizate cu ajutorul schemei din figura 2, în care, R reprezintă rezistenţa diodelor D în sens direct.

Aşa cum se arată în [3] pentru analiza circuitelor electrice ce conţin miezuri magnetice excitate cu impulsuri dreptunghiulare de curent, pe lîngă ecuaţiile stabilite cu ajutorul teoremelor lui Kirchhoff, este necesară o ecuaţie diferenţială suplimentară de forma dată în [2] şi [4]:

$$\frac{dB}{dt} = r_m(1 - B^2/B_s^2)\left(\frac{i_T N_T}{l} - H_0\right), \quad (1)$$

*Dr. ing. *Ion Popa* este conferenţiar la Institutul politehnic-Timişoara, Facultatea de electrotehnică.

a cărei soluție este inducția magnetică B în miez, ca funcție de timp la trecerea miezului din starea $+B_r$ în $-B_r$, sau invers, sub acțiunea impulsului dreptunghiular i_T (fig. 3).

B_r — inducția remanentă, corespunzătoare ciclului histerezis limită.

Un element esențial în calculul circuitelor ce conțin miezuri magnetice excitate în impuls îl

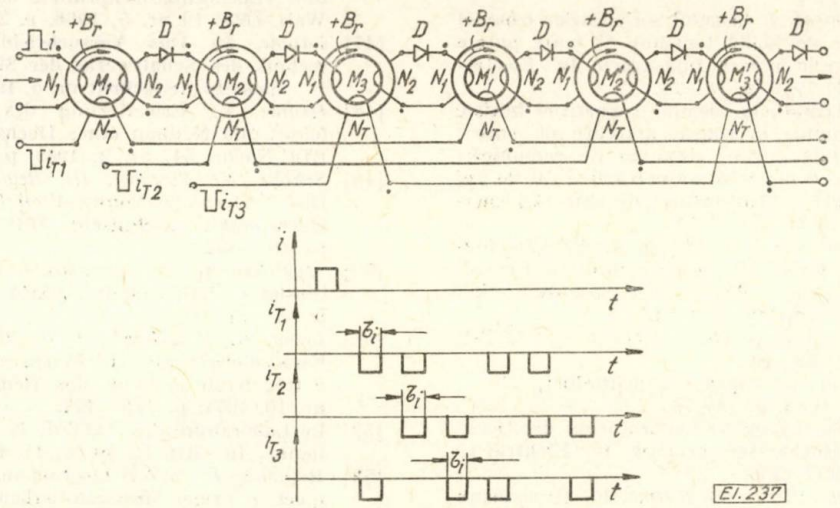


Fig. 1. Registrul de deplasare tritact cu ferite

În ecuația (1) apar doi parametri care definesc comportarea de impuls a feritei și care pot fi determinați experimental [4]: $r_m[\Omega/\mathrm{m}]$ — rezistența dinamică maximă și $H_0[\mathrm{A/m}]$ — cîmpul magnetic prag.

Ecuația (1) este valabilă cu condiția ca $i_T N_T/l > H_0$ pe de o parte, și cu condiția ca durata impulsului dreptunghiular i_T să fie mai mare sau cel puțin egală cu timpul τ, necesar pentru ca inducția să treacă de la $+B_r$ la $-B_r$ sau invers, pe de altă parte.

În (1), l este lungimea medie a torului de ferită, iar B_S este inducția de saturație ce corespunde pe ciclul histerezis la $H_m = i_T N_T/l$. Cînd miezul comută în gol (înfășurările N_1 și N_2 deschise), se arată [4], că timpul de comutare poate fi calculat din relația:

$$S_w = (H_m - H_0)\,\tau = \frac{2B_s}{r_m}\,\mathrm{argth}\,\frac{B_r}{B_s},$$

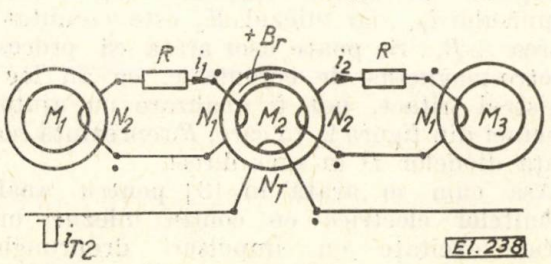


Fig. 2. Schema tip pentru analiza registrului de deplasare tritact cu ferite.

unde:

S_w [Cb/m], reprezintă constanta de comutare a miezului, determinabilă experimental [4];

constituie faptul că la comutarea miezurilor în sarcină (fig. 2) ecuația (1) devine:

$$\frac{dB}{dt} = r_m\,(1 - B^2/B_S^2)\left(\frac{i_T N_T}{l} - H_0 + \frac{i_1 N_1}{l} + \frac{i_2 N_2}{l}\right), \qquad (2)$$

ecuația (2) fiind valabilă numai cu condiția ca impulsurile de curent i_1 și i_2 să nu se abată de la forma dreptunghiulară.

Date fiind dificultățile ce intervin la integrarea ecuațiilor diferențiale neliniare de forma (2), în literatură se recurge la diverse aproximații redate în [3], aproximații ce nu țin seama de timpul de creștere a curenților i_1 și i_2.

În lucrarea de față se propune o soluție aproximativă, originală, pentru integrarea sistemului de ecuații diferențiale neliniare aferente circuitului din figura 2, luînd în considerație forma impulsurilor $i_1(t)$ și $i_2(t)$.

1. Ecuațiile diferențiale și condițiile inițiale

Ținînd cont că timpul de creștere a impulsului $i_2(t)$ poate fi mai mic sau mai mare, după cum impulsul de excitație i_T are amplitudine mai mare sau mai mică, momentul t_0, în care miezul M_3 începe să comute, este diferit la două valori diferite pentru i_T (fig. 3). Pentru $t < t_0$

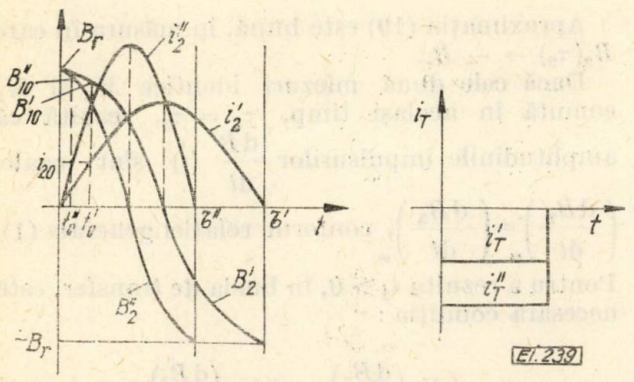


Fig. 3. Variația inducției magnetice B, sub acțiunea impulsurilor de tact i_T' și i_T''

miezul M_3 nu începe încă să comute, ecuațiile circuitului fiind în acest caz următoarele:

$$-AN_1\frac{dB_2}{dt}=R\cdot i_1, \tag{3}$$

$$-AN_2\frac{dB_2}{dt}=R\cdot i_2, \tag{4}$$

$$\frac{dB_2}{dt}=r_m(1-B_2^2/B_S^2)\left(\frac{i_TN_T}{l}-H_{02}+\frac{i_1N_1}{l}+\frac{i_2N_2}{l}\right), \tag{5}$$

unde, A este secțiunea transversală a miezului,

$$i_1>0, i_2>0;\ i_T<0;\ \frac{i_TN_T}{l}-H_{02}+\frac{i_1N_1}{l}+\frac{i_2N_2}{l}<0.$$

Mărimea H_{02}, din relația (5), reprezintă cîmpul magnetic prag, care la comutarea miezului M_2 sub acțiunea impulsului $i_T<0$ este negativ și are valoarea numerică egală cu H_0. Deci, în (5) se va considera $H_{02}=-H_0$.

Dacă $t=t_0$ reprezintă momentul în care miezul M_3 își începe comutația, rezultă că în acel moment curentul din bucla de transfer ia valoarea:

$$i_{20}=\frac{H_{03}l}{N_1}>0. \tag{6}$$

În relația (6), mărimea H_{03}, pozitivă, reprezintă cîmpul magnetic prag, la comutarea miezului M_3 sub acțiunea impulsului $i_2>0$. H_{03} are valoarea numerică egală cu cîmpul H_0. Deci, în (6) se mai consideră $H_{03}=H_0$. Introducînd i_{20} din (6) în (4) rezultă:

$$\left(\frac{dB_2}{dt}\right)_0=-\frac{Ri_{20}}{AN_2}=-\frac{R\cdot H_{03}l}{AN_1N_2}. \tag{7}$$

Ținînd cont de (7) și (3), din (5) se calculează inducția în miezul M_2, la $t=t_0$, în forma:

$$B_{20}=B_S\sqrt{1-\frac{Rl}{AN_1N_2r_m\left[\frac{(-H^x)}{H_{03}}-\frac{N_2}{N_1}-\frac{N_1}{N_2}\right]}}. \tag{8}$$

Punînd condiția ca la $t=t_0$, $B_{20}=+B_r$, se găsește impulsul $H^x=i_TN_T/l-H_{02}$, pentru care miezul M_3 începe să comute simultan cu M_2:

$$K_B=\frac{(-H^x)}{H_{03}}=\frac{N_2}{N_1}+\frac{N_1}{N_2}+\frac{Rl}{AN_1N_2r_m(1-B_r^2/B_s^2)}. \tag{9}$$

Considerînd că parametrii circuitului au fost aleși astfel ca să îndeplinească condiția (9), ecuațiile circuitului din figura 2 devin:

$$-AN_1\frac{dB_2}{dt}=Ri_1, \tag{10}$$

$$-AN_2\frac{dB_2}{dt}-AN_1\frac{dB_3}{dt}=Ri_2, \tag{11}$$

$$\frac{dB_2}{dt}=r_m(1-B_2^2/B_3^2)\left(H^x+\frac{i_1N_1}{l}+\frac{i_2N_2}{l}\right), \tag{12}$$

$$\frac{dB_3}{dt}=r_m(1-B_3^2/B_S^2)\left(\frac{i_2N_1}{l}-H_{03}\right), \tag{13}$$

unde:

$$i_2>0;\ H_{03}=H_0>0;\ \frac{i_2N_1}{l}-H_{03}>0.$$

Fiind precizată condiția (9) se poate spune că, pentru sistemul de ecuații (10) — (13) condițiile inițiale sînt:

$$\begin{aligned} &t=0 && B_2=+B_r && B_3=-B_r\\ &t=\tau_3 && B_2=B_2(\tau_3)\neq -B_r && B_3=+B_r\\ &t=\tau_2 && B_2=-B_r && B_3=+B_r. \end{aligned} \tag{14}$$

În condițiile inițiale (14) s-a ținut seama că funcționarea schemei nu este posibilă decît dacă:

$$\tau_2\geqslant\tau_3, \tag{15}$$

respectiv, dacă miezul M_3 își încheie comutarea mai repede sau cel mult simultan cu M_2 (fig. 4).

2. Calculul timpilor de comutare

Eliminînd curenţii i_1 şi i_2 din ecuaţiile (10), (12) se deduce ecuaţia :

$$\frac{dB_2}{dt}\cdot\frac{1}{r_m(1-B_2^2/B_S^2)} = H^x - \frac{N_2}{Rl}\left(AN_2\frac{dB_2}{dt} + AN_1\frac{dB_3}{dt}\right) - \frac{AN_1^2}{Rl}\frac{dB_2}{dt}, \quad (16)$$

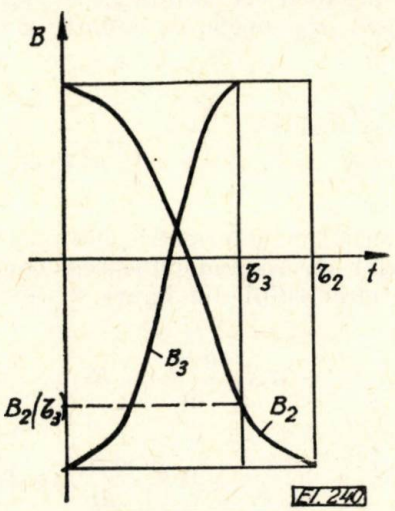


Fig. 4. Variaţia inducţiei magnetice B, în miezurile M_2 şi M_3, la aplicarea impulsului de tact i_T, în cazul $\tau_2 > \tau_3$.

care fiind integrată între limitele $t = 0$, $t = \tau_2$, conduce la deducerea timpului de comutare a miezului M_2 :

$$\tau_2 = \frac{S_w + \frac{A2B_r}{Rl}(N_2^2 + N_1^2 - N_1N_2)}{(-H^x)} \quad (17)$$

Eliminînd apoi curenţii i_1 şi i_2 din (10), (12) şi (13) rezultă ecuaţia :

$$\frac{dB_2}{dt}\cdot\frac{1}{r_m(1-B_2^2/B_S^2)} = H^x + \frac{N_2}{N_1}\left(\frac{dB_3}{dt}\cdot\frac{1}{r_m(1-B_3^2/B_S^2)} + H_{03}\right) - \frac{AN_1^2}{Rl}\frac{dB_2^2}{dt}, \quad (18)$$

care, fiind integrată între limitele $t = 0$ şi $t = \tau_3$, cu aproximaţia :

$$\int_0^{\tau_3}\frac{1}{r_m(1-B_2^2/B_S^2)}dB_2 \cong -S_w, \quad (19)$$

conduce la timpul de comutare a miezului M_3 :

$$\tau_3 = \frac{S_w\left(1+\frac{N_1}{N_2}\right) + \frac{AN_1^3}{lRN_2}2B_r}{(-H^x)\frac{N_1}{N_2} - H_{03}} \quad (20)$$

Aproximaţia (19) este bună, în măsura în care $B_2(\tau_3) \to -B_r$.

Dacă cele două miezuri identice M_2 şi M_3 comută în acelaşi timp, $\tau_2 = \tau_3$, rezultă că amplitudinile impulsurilor $\frac{dB}{dt}(t)$ sînt egale, $\left(\frac{dB_2}{dt}\right)_m = \left(\frac{dB_3}{dt}\right)_m$, conform relaţiei generale (1).

Pentru a rezulta $i_2 > 0$, în bucla de transfer, este necesară condiţia :

$$-AN_2\left(\frac{dB_2}{dt}\right)_m > AN_1\left(\frac{dB_3}{dt}\right)_m, \quad (21)$$

respectiv :

$$N_2 > N_1. \quad (22)$$

Ţinînd cont de relaţia (15), din (17) şi (20) se deduce, la parametrii daţi, cîmpul $(-H^x) = -\left(\frac{i_T N_r}{l} - H_{02}\right)$, pentru care registrul funcţionează, în forma :

$$K_\tau = \frac{(-H^x)}{H_{03}} \geqslant \frac{S_w + \frac{A2B_r}{Rl}(N_2^2 + N_1^2 - N_1N_2)}{-S_w + \frac{A2B_r}{Rl}N_1(N_2 - N_1)}. \quad (23)$$

3. Calculul parametrilor buclei de transfer

Presupunînd parametrii miezurilor A, l, B_r, B_S, r_m S_w, H_0 daţi şi rezistenţa diodei din bucla de transfer R, ne propunem să determinăm numărul de spire N_1 şi N_2, astfel încît condiţia (23) să fie satisfăcută pentru un curent i_T, respectiv un cîmp $(-H^x)$, minim.

Notînd $\frac{N_1}{N_2} = n$ şi luînd în consideraţie egalitatea din (23), se studiază funcţia $K_\tau = f(N_2)$, de forma :

$$K_\tau = \frac{S_w + N_2^2(1 + n^2 - n)\frac{A2B_r}{lB}}{-S_w + N_2^2 n(1-n)\frac{A2B_r}{lR}}, \quad (24)$$

unde : n este menţinut ca parametru.

Pentru $N_2 = N_2^x = \sqrt{\frac{S_w lR}{A\cdot 2\cdot B_r n(1-n)}}$ rezultă $K_\tau = \infty$, iar pentru $N_2 \to \infty$, $K_{\tau\infty} = \frac{1+n^2-n}{n(1-n)}$, (fig. 5a).

Punînd condiţia ca numărul de spire limită N_2^x, care condiţionează funcţionarea registru-

lui, să fie minim, rezultă că se impune raportul numărului de spire :

$$N_1/N_2 = n = 1/2, \text{ (fig. 5}b\text{)}.$$

Se constată că, pentru $n = \frac{1}{2}$ și curba

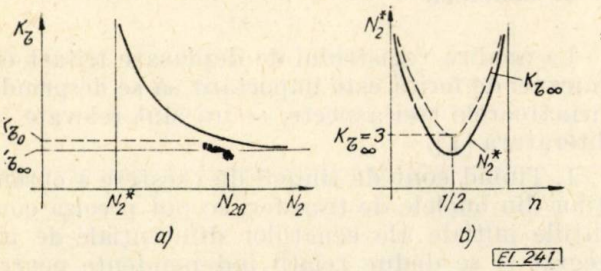


Fig. 5. a Variația funcției $K_\tau = f(N_2^2)$ pentru parametrul n dat.
Fig. 5. b. Variația funcțiilor N_2 (n) și $K_{\infty\tau}$ (n)

$K_{\tau\infty} = f$ (n), prezintă un minim, $(K_{\tau\infty})_{n=1/2} = 3$. Cum numărul de spire N_2 nu poate fi prea mare, datorită dimensiunilor reduse ale miezurilor, urmează să se aleagă un raport $K_{\tau 0} > 3$, potrivit sursei de impulsuri disponibile, la care corespunde un număr de spire N_{20}, dedus pentru $n = 1/2$ din (24) în forma :

$$N_{20} = 2\sqrt{\frac{K_{\tau 0}+1}{K_{\tau 0}-3}\cdot\frac{S_w l R}{A 2 B_r}}\,. \qquad (25)$$

Dacă înfășurările cu N_{20} și N_{10} spire nu sînt realizabile constructiv, la dimensiunile date ale miezului, urmează să se majoreze raportul $K_{\tau 0}$ ales.

4. Verificarea informației inverse

La scrierea ecuațiilor diferențiale s-a presupus că miezul M_1 este reținut în starea $-B_r$, ceea ce înseamnă că amplitudinea impulsului de curent i_{1m} produce un cîmp mai mic, sau cel mult egal cu cîmpul de tact $(-i_1 N_T/l)$:

$$\frac{i_{1m} N_2}{l} \leqslant (K_{\tau 0}+1) H_0. \qquad (26)$$

Pentru calculul amplitudinii i_{1m} se deduce mai întîi $\frac{dB_2}{dt}$, respectiv $\left(\frac{dB_2}{dt}\right)_m$ din sistemul de ecuații (10) — (13).

Eliminînd $\frac{dB_3}{dt}$ din (11) și (13) rezultă :

$$i_2 = \frac{-AN_2\frac{dB_2}{dt} + AN_1 H_{03} r_m (1 - B_3^2/B_S^2)}{R + \frac{AN_1^2}{l} r_m (1 - B_3^2/B_S^2)} \qquad (27)$$

Înlocuind i_1 din (10) și i_2 din (27) în (12) se deduce ecuația diferențială pentru $B_2(t)$ în forma :

$$\frac{dB_2}{dt} = -\frac{(-H^x) - \frac{AN_1N_2H_{03}r_m(1-B_3^2/B_S^2)}{Rl+AN_1^2\cdot r_m(1-B_3^2/B_S^2)}}{\frac{1}{r_m(1-B_2^2/B_S^2)} + \frac{AN_2^2}{Rl+AN_1^2\cdot r_m(1-B_3^2/B_S^2)} + \frac{AN_1^2}{Rl}}. \qquad (28)$$

Cum ecuația diferențială neliniară (28) nu poate fi soluționată analitic, vom aproxima că $B_2(t)$ și $B_3(t)$ trec simultan prin zero, ceea ce se confirmă în practică și deci, înseamnă că conform ecuației (1), pentru $B_2 = 0$ și $B_3 = 0$, dB/dt este maximă și are forma :

$$\left(\frac{dB_2}{dt}\right)_m = -\frac{(-H^x) + \frac{AN_1N_2H_{03}r_m}{Rl+AN_1^2\cdot r_m}}{1 + \frac{AN_2^2\cdot r_m}{Rl+AN_1^2 r_m} + \frac{AN_1^2 r_m}{Rl}}\cdot r_m. \qquad (29)$$

Calculînd i_{1m} din (10) și (29) și introducînd expresia găsită în (26) se obține :

$$\frac{AN_1N_2}{Rl} r_m H_0 \cdot \frac{K_{\tau 0} - \frac{AN_1N_2r_m}{Rl+AN_1^2 r_m}}{1 + \frac{AN_2^2 r_m}{Rl+AN_1^2 r_m} + \frac{AN_1^2 r_m}{Rl}} \leqslant (K_{\tau 0}+1) H_0. \qquad (30)$$

Din (30) se deduce condiția suplimentară ce trebuie îndeplinită pentru ca informația inversă să nu se transmită, în forma :

$$K_{\tau 0} \leqslant \beta, \qquad (31)$$

unde,

$$\beta = \frac{\frac{Rl}{AN_1N_2r_m} + \frac{Rl}{Rl+AN_1^2r_m}\cdot\frac{N_2}{N_1} + \frac{N_1}{N_2} + \frac{AN_1N_2r_m}{Rl+AN_1^2r_m}}{1 - \left[\frac{Rl}{AN_1N_2r_m} + \frac{Rl}{Rl+AN^2r_m}\cdot\frac{N_2}{N_1} + \frac{N_1}{N_2}\right]}. \qquad (32)$$

5. Verificarea experimentală

Considerăm un miez toroidal de ferită pe bază de oxizi de fier, mangan și magneziu cu parametrii :

$A = 0{,}6\cdot10^{-6}$ m², $l = 0{,}785\,10^{-2}$ m, $S_w = 60\cdot10^{-6}$ C/m, $H_0 = 90$ A/m, $B_r = 0{,}27$ T,

$B_s = 0{,}9$ T, $r_m = 1 \cdot 8 \cdot 10^4 \Omega$/m și dioda, avînd $R = 4\Omega$ (un tranzistor EFT 323 conectat între bază și colector).

Alegînd $K_{\tau 0} = 4$, din (25) rezultă $N_{20} = 11$ spire, iar $N_{10} = \frac{11}{2}$ spire. Se adoptă $N_{10} = 6$ spire.

Se verifică : $K_B = 2{,}85 < K_{\tau 0}$.

Pentru $(-H^x) = 4H_0 = 360$ A/m, din (17) și (20) rezultă : $\tau_2 = \tau_3 = 2{,}78 \cdot 10^{-6}$s.

Pentru $(-H^x) > 4H_0$ va rezulta $\tau_2 > \tau_3$.

Din (32) se determină : $\beta = 8{,}8 > K_{\tau 0}$.

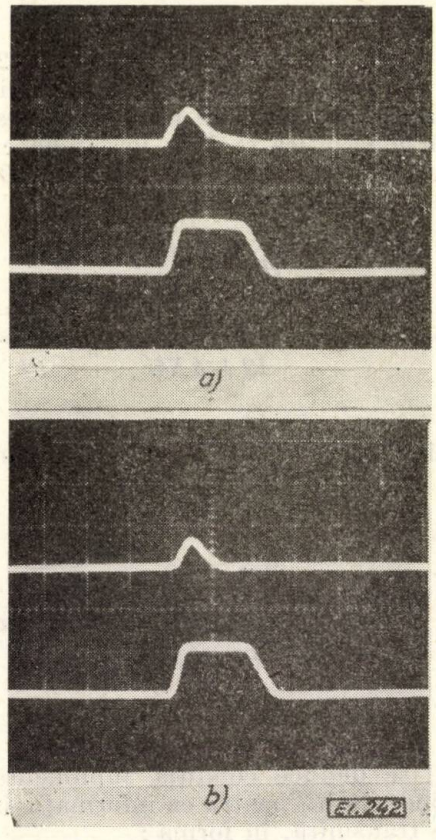


Fig. 6. a. Fotografia impulsurilor $u = -AN\, dB_2/dt$ (curba de sus—scara 5 V/div) și i_T (curba de jos-scara 0,5/A/div), scara timpului 2 μs/div. b. Fotografia impulsurilor $u = AN_1\, dB_3/dt$ (curba de sus—scara 5 V/div) și i_T (curba de jos —scara 0,5 A/div). Scara timpului 2μs/div.

Realizînd registrul cu datele calculate mai sus și adoptînd numărul de spire $N_T = 7$, pentru cîmpul $(-H^x) = 450$ A/m, s-au determinat, experimental, timpii de comutare $\tau_2 = 2{,}4$ μs și $\tau_3 = 1{,}8$μs (oscilogramele din fig. 6).

Utilizînd relațiile (17) și (20) se determină, prin calcul, $\tau_2 = 2{,}25$ μs și $\tau_3 = 1{,}9$ μs, ceea ce înseamnă o abatere procentuală a rezultatelor de calcul, față de cele experimentale de $\pm 5\%$.

6. Concluzii

La analiza registrului de deplasare tritact cu miezuri de ferită este important să se desprindă următoarele trei aspecte, ce nu sînt relevate în literatură [1].

1. Ținînd cont de timpul de creștere a curenților din buclele de transfer, se pot preciza condițiile inițiale ale ecuațiilor diferențiale de integrat și se deduc relații independente pentru timpii de comutare τ_2 și τ_3.

2. Expresiile separate, deduse pentru timpii de comutare, conduc la determinarea unor relații între parametrii schemei, corespunzătoare regimului optim de funcționare.

3. Pe baza analizei sistemului de ecuații diferențiale neliniare ale circuitului, se ajunge la stabilirea unui criteriu matematic care confirmă eliminarea informației inverse.

Relațiile originale (9), (17), (20), (24), (25) și (32), deduse mai sus, răspund tuturor cerințelor ce se impun la proiectarea acestor circuite.

Bibliografie

[1] *Vedeneev, V. P.* Metodica rasceta parametrov FDE registra sdviga dlia zadanoi zonî ustoicivoi rabotî. În : Trudî MEI, Vîpusc **60**, Ciasti 3, Moskva 1965.

[2] *Pirogov, A. I., Samaev, Iu. M.* Magnitnîe serdeciniki v avtomatike i vîcislitelnoi tehnike. Moskva, Energhia, 1967.

[3] *Popa, I.* Contribuții la studiul registrelor de deplasare bitact, realizate cu miezuri de ferită. În : Automatica și Electronica, nr. 4, iulie-august 1970, București.

[4] *Benda, O.* Uber den Einflus der magnetischen vorgeschichte auf die Impulseigenschaften der Ferrite mit rechtckiger Histereseschsleife XII Internationales Wiessenschaftliches Kolloquium. Heft 3. Nichtliniare Electrotechnik. Technische Hochschule Ilmenau, September 1967.

Intrat în redacție la 10. II. 1972

UMEB — 25 de ani de producție electrotehnică

Uzina de mașini electrice-București, prima întreprindere românească profilată pe fabricația de mașini și transformatoare electrice, a luat ființă cu 25 de ani în urmă, dar ca așezare industrială datează din anul 1928 cînd s-au construit cîteva ateliere mecanice de reparații generale. Cunoscute sub denumirea ASAM, aceste ateliere — destul de slab dotate — erau destinate reparațiilor de motoare termice și material rulant, inclusiv material aeronautic militar. În intervalul 1934—1943 au fost construite o serie de clădiri și hangare, dintre care unele, cum sînt corpul administrativ central, corpul tehnic, matrițeria, turnătoria, sediul actualei școli profesionale, clădirea mecanicului-șef, sînt utilizate, cu mici modificări și în prezent. În 1945 ASAM își schimbă numele în „Întreprinderea metalurgică de Stat — Cotroceni", rămînînd însă o instituție militară. Se trece apoi la o producție de pace, cu produse foarte variate: piese de schimb tractoare și auto, piese de fontă turnate, diverse mașini pentru agricultură, reparații tractoare, etc.

La 1 august 1948 s-a înființat Fabrica de mașini electrice „Dinamo", cu sediul în București pe amplasamentul fostului ASAM — prima fabrică constructoare de mașini electrice din țara noastră, ca întreprindere socialistă de stat.

Începuturile activității întreprinderii au fost grele. Cu toate că în decembrie 1948 — ianuarie 1949 au fost comasate la „Dinamo" 5 unități electrotehnice mai mici, naționalizate, ca: Grupul Industriilor electrice, IMATAK, RATEC, TRAFO, atelierele C. Steinberg, condițiile materiale pentru o producție de serie erau cu totul insuficiente. Lipseau utilajele și materialele specifice, lipsea personalul calificat și specializat corespunzător, lipsea experiența tehnică și organizatorică. De asemenea, sudarea într-un tot unitar și amplasarea elementelor disparate, provenite de la unitățile comasate, se făcea anevoios.

În 1948 uzina avea o suprafață productivă de numai 6000 mp, dispersată în peste zece mici ateliere și hangare, improprii unei fabricații în flux tehnologic. Încă din primul an de existență, pentru a se asigura spațiile de producție necesare, s-au construit două hale noi de beton, care au mărit cu 40 % suprafața clădită. Apoi s-au reparat, reamenajat și modernizat o parte din vechile construcții. Beneficiind de importante fonduri de investiții, mai ales în cincinalul 1966—1970, uzina a ajuns să aibă în prezent o suprafață desfășurată de producție de peste patru ori mai mare decît la înființare, foto 1, iar dotarea cu mașini și utilaje să fie complet modernizată. În actualul cincinal se află în construcție o nouă hală pentru fabricația motoarelor electrice speciale și o nouă secție care însumează peste 15 000 mp.

În scopul asigurării cadrelor necesare de muncitori calificați și tehnicieni, s-au înființat numeroase forme de școlarizare și specializare, reușindu-se pregătirea a 200 muncitori în medie pe an. Încă din anul 1949 a început să funcționeze școala profesională uzinală, care pregătește muncitori strungari, bobinatori, matrițeri și montatori de mașini electrice. Numărul elevilor, care în anul 1958 nu depășea 150, a crescut la 369 în 1965, iar în prezent depășește cifra de 1 500; desigur, pregătim cadre calificate și pentru alte întreprinderi din sectorul electrotehnic.

Numeroși muncitori, ingineri și tehnicieni s-au specializat, în țară sau peste hotare, în construcția și tehnologia mașinilor electrice. Uzina are în prezent un colectiv puternic de muncitori, ingineri și tehnicieni care asigură în întregime elaborarea produselor, de la cercetare — proiectare pînă la expedierea și asigurarea service-ului la beneficiarii interni și externi. Mulți dintre salariați au fost răsplătiți cu ordine și medalii ale R.S.R., sînt laureați ai premiului de Stat și posedă titluri științifice.

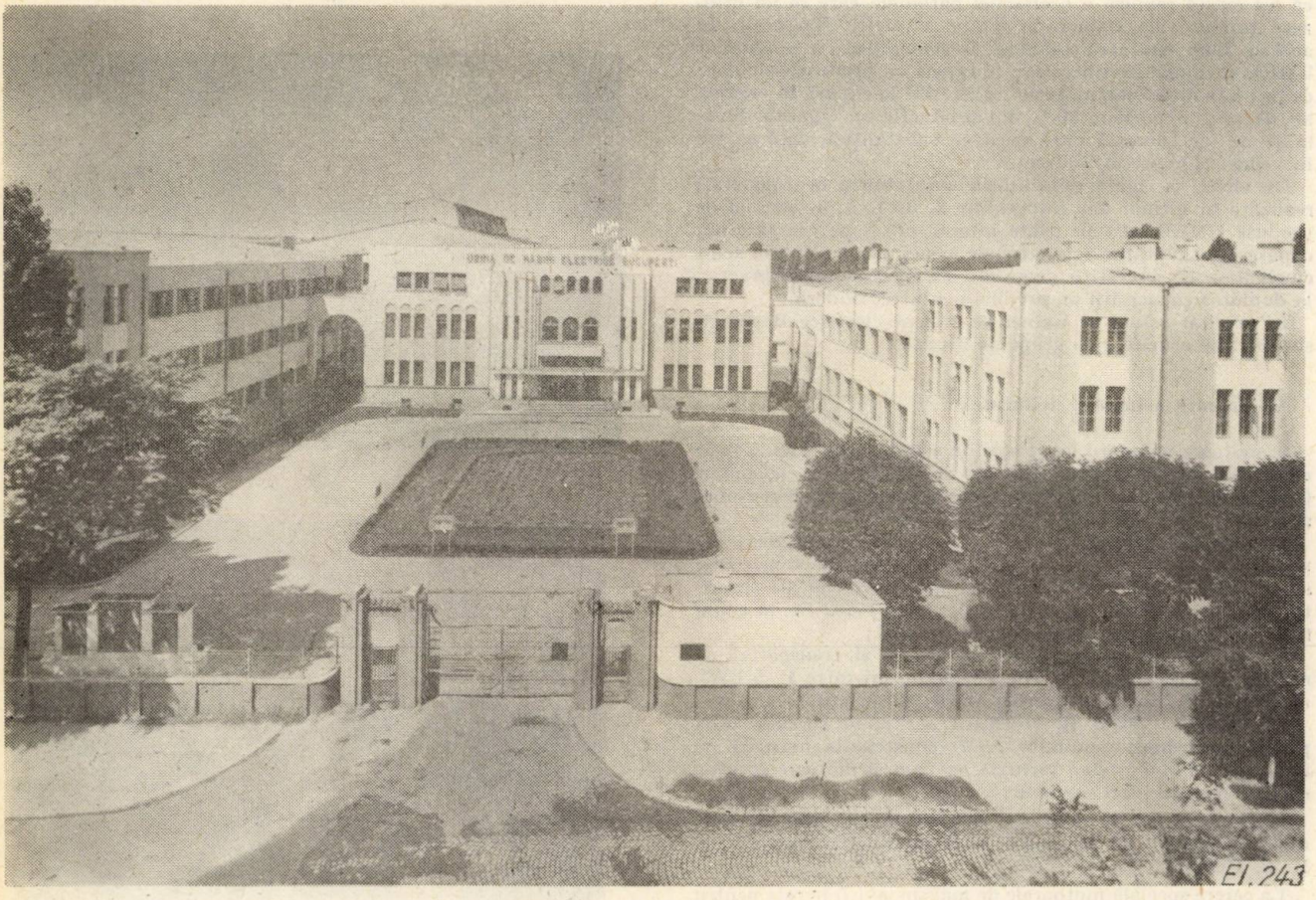


Fig. 1

Înlăturînd greutățile începutului, întreprinderea „Dinamo" — devenită, din 1953, Uzina de mașini electrice-București — a trecut treptat la disciplina și metodele de lucru proprii unei mari întreprinderi. În tabela 1 prezentăm dinamica creșterii producției globale luînd ca bază anul 1949, al doilea an de funcționare a întreprinderii, (producția anului 1975 reprezintă cifra planificată pentru realizarea cincinalului în 4 ani și jumătate).

O asemenea dezvoltare a producției s-a realizat, în special, pe seama creșterii productivității muncii, care — la rîndul său — a cunoscut un gradient convingător (tabela 1).

Tabela 1

Evoluția în timp a principalilor indicatori de plan

Indicatorul / Anul	1949	1955	1960	1965	1973	1975
Producția-globală, %	100	421	992	2090	4433	7420
Productivitatea muncii, %	100	663	788	1195	2582	3350

Importantele creșteri cantitative au avut loc în condițiile unei largi diversificări a fabricației. De unde în 1949 întreprinderea producea 30—40 de tipodimensiuni de motoare electrice, cu puteri între 3—190 kW și transformatoare de forță, cu puteri între 100—800 kVA, în prezent U.M.E.B. produce peste 750 tipodimensiuni de motoare electrice speciale, generatoare și grupuri electrogene, convertizoare și utilaje electrotehnice de nivel tehnic avansat. Se poate spune că nu există ramură a economiei naționale care să nu utilizeze produse ale Uzinei de mașini electrice București. În același timp calitatea tehnică și economică a produselor UMEB și competitivitatea lor, în raport cu produsele similare de pe piața mondială, au făcut ca cererile la export să crească an de an; în prezent 30% din producție se exportă direct în 47 de țări, această cifră crescînd substanțial, dacă se are în vedere și exportul indirect.

De altfel, cu toate dezvoltările importante de capacități realizate în ultimii ani, fotografiile 2, 3, 4, 5, 6, cererile de produse UMEB, atît pe piața internă cît și pe cea externă, depășesc posibilitățile de oferire ale uzinei. Ca urmare, în acest cincinal se fac investiții deosebite, care vor conduce, practic, la dublarea capacității de producție a întreprinderii.

În profilul actual al Uzinei de mașini electrice București sînt incluse următoarele grupe de produse.

A. Motoare asincrone trifazate:

a. motoare standard cu rotorul în scurt-circuit sau cu inele colectoare din gabaritele 225, 250 și 280, în scara de puteri CEI, publicația 72/1—1959 și în corelarea puterii-dimensiuni, adoptată prin DIN-42.673 și NFC 51—150;

b. motoare antideflagrante, în construcție antigrizutoasă pentru industria minieră (seria AEM), sau în construcție antiexplozivă (seria AE), corespunzînd normelor de securitate din R. S. România, precum și VDE 0171/2.61, în gabarite CEI, scara de puteri de la 0,8—100 kW;

c. motoare pentru instalații de ridicat și transportat cu rotorul în scurt-circuit (seria MS cu puteri între 1—5 kW), sau cu inele colectoare (seriile M2 și M3 cu puteri între 3—60 kW). Au intrat în fabricație seriile în corelare DIN puteri-dimensiuni, denumite AIM (construcție normală cu inele) și AIFM (cu frînă inclusă), precum și motoare speciale cu frînă pentru electropalane;

d. motoare pentru acționări speciale de pe nave, cu una, două sau trei viteze, omologate conform Registrului Naval al R. S. România și al U.R.S.S.

La cerere specială motoarele de mai sus pot fi livrate pentru frecvența de 60 Hz, pentru orice tensiune pînă la 500 V, în

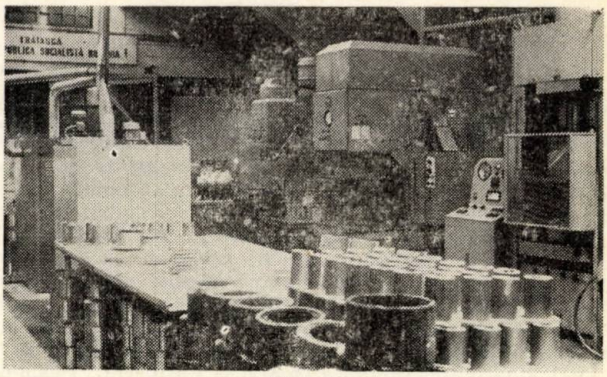


Fig. 2

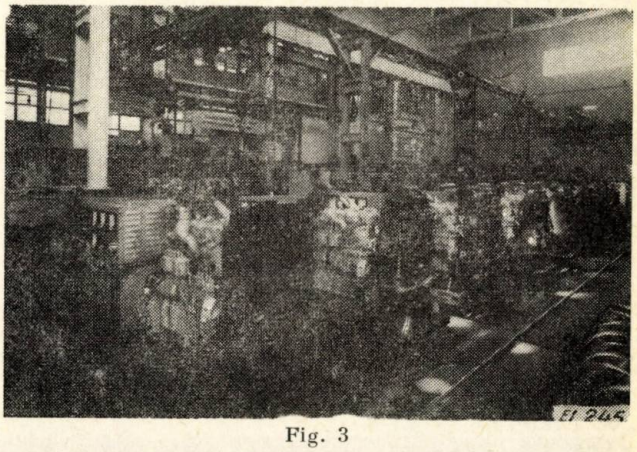


Fig. 3

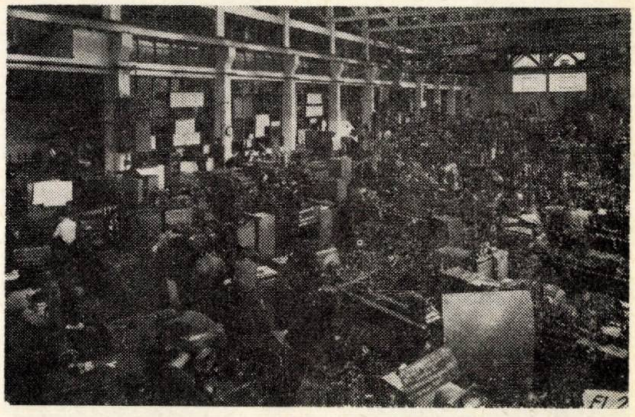


Fig. 4

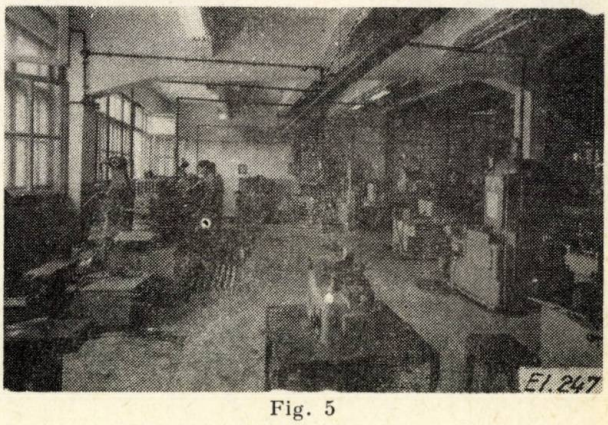


Fig. 5

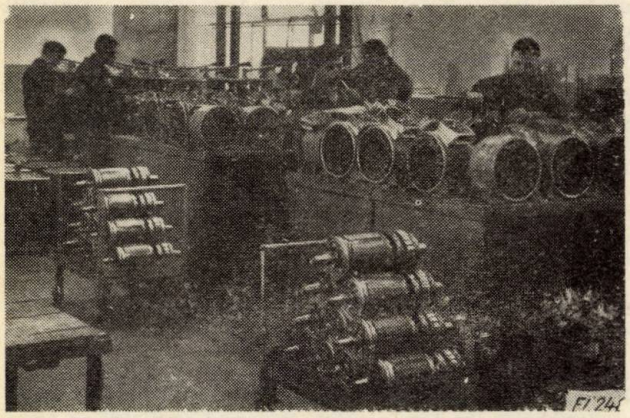


Fig. 6

execuție tropicală TH și în diferite forme constructive (orizontale cu tălpi, flanșate, verticale, cu unul sau două capete libere ale axului).

B. **Motoare și generatoare de curent continuu:** mașini de uz general și naval, pentru regim continuu (seria Cn) cu puteri de la 0,9—125 kW, la tensiuni de 110 V sau 220 V; motoare de curent continuu, pentru tracțiune urbană și feroviară: seriile T și TN, pentru motoare de tramvai și troleibuz, cu puteri între 34—130 kW la 550 și 750 V; seria TA, pentru motoare auxiliare de tracțiune urbană (pentru compresoare); seria GC, pentru instalațiile auxiliare de la locomotiva diesel-electrică (ventilatoare, pompa de apă, pompa de combustibil); motoare pentru tracțiunea minieră, în construcție antigrizutoasă, seriile Tm și Tdm, cu puteri între 4,5—20 kW la tensiuni între 72—550 V; motoare pentru transport uzinal, destinate acționării electrocarelor și electrostivuitoarelor, alimentate de la baterii proprii de acumulatoare.

C. Generatoare sincrone și grupuri electrogene.

a. generatoare sincrone standard, trifazate, cu autoexcitație și stabilizarea tensiunii în limite ± 2,5% (seria SC), cu puteri între 4—150 kVA;

b. generatoare sincrone trifazate, fără contacte alunecătoare, printre care generatorul GIFV pentru iluminatul și încălzirea vagoanelor de cale ferată;

c. grupuri electrogene trifazate (seria GTE) concepute pentru alimentarea cu energie electrică a micilor aglomerări, șantiere, instalații de foraj etc. Toate acestea sînt echipate cu motor cu benzină sau cu motor diesel și se livrează în construcție semimobilă (pe sănii), sau mobilă (pe remorci cu una sau două axe, tractabile pe drumurile publice). Seria comportă puteri între 4—150 kVA, la tensiuni de 230 sau 400 V între faze, cu nul accesibil. Comanda și controlul funcționării sînt asigurate printr-un tablou corespunzător.

D. Convertizoare de sudare și grupuri de sudare cu motor termic; convertizor de sudare 125 A, 3000 rot/min; convertizor de sudare 315 A, 3000 rot/min; convertizor de sudare 315 A, 1500 rot/min.; convertizor de sudare 500 A, 1500 rot/min.; convertizor de sudare 200 A, 3000 rot/min.

Tipurile convertizoare menționate sînt în construcție monobloc, cu posibilități de alimentare la 220, 380, 440 și 500 V, la 50 sau 60 Hz, în protecție climatică normală sau tropicalizată, cu comandă locală sau de la distanță.

— grupul de sudare cu motor diesel, de 315 A și grupul de sudare cu motor diesel, de 500 A sînt livrabile ca grupuri semimobile, pe un șasiu rigid, sau grupuri mobile, pe o remorcă monoax, capotabile.

E. Grupuri convertizoare:

a. grupuri convertizoare de curent continuu — curent alternativ, tip GCA, puteri 0,3—3 kVA, tensiune 125—250 V monofazat și 50—220 V în curent continuu, cu reglaj automat al tensiunii și frecvenței,

b. convertizoare de curent continuu 135—170 V/24 V pentru comenzile auxiliare ale locomotivelor diesel-electrice (tip GCMe);

c. grupuri convertizoare de medie frecvență (seria GCF), concepute pentru alimentarea instalațiilor de topire sau călire cu C.I.F. Se fabrică pentru frecvențe de 2500 și 8000 Hz, cu puteri între 50—125 kW, într-o construcție monobloc, verticală, absolut silențioasă, în baza unui brevet UMEB, inventator ing. V. Bunea. Produsul a fost premiat cu medalia de aur la Expoziția de la Viena.

F. Aparataj de pornire și reglaj: controlere pentru motoare de tracțiune (seriile CC și CTE) și pentru motoare de macara (seria CMA); rezistențe de pornire și reglaj (seriile SR și TR); reostate de pornire pentru motoare asincrone cu inele colectoare (seria RA) și pentru motoare de curent continuu (seriile RP și RZP); comutatoare stea-triunghi, în ulei, de 100 și 200 A, tip CST; autotransformatoare de pornire, tip ATPF.

G. Echipament electric divers: grupuri Ward-Leonard, cu puteri între 3,5—110 kW; agregate motor-generator de curent continuu și alternativ pentru standuri de probă; motoare pentru pompe submersibile, cu puteri între 4—17 kW; perforatoare miniere antigrizutoase; motoare pentru role de laminor; demaroare pentru vehicule și motoare diesel pînă la 700 CP.

Această succintă trecere în revistă a profilului de fabricație al Uzinei de mașini electrice din București denotă diversitatea preocupărilor și potențialul tehnic al colectivului nostru, care poate rezolva competent orice solicitare de echipament electric din profilul arătat, înțelegînd prin aceasta cercetarea, proiectarea, pregătirea tehnologică și fabricarea produselor respective.

Dată fiind cererea tot mai mare de produse din profilul U.M.E.B. și de mașini electrice speciale în general — care nu pot fi executate într-o altă uzină din țară — colectivul uzinei este confruntat în prezent cu problemele unei dezvoltări fără precedent. În preocupările noastre actuale și de viitor avem în vedere, în primul rînd, o largă acțiune de modernizare și diversificare a fabricației. În 1975 peste 90% din produsele uzinei vor fi modele noi, comparativ cu anul 1970. Corespondența tipodimensională și posibilitatea de oferire, conform standardelor străine de mare circulație mondială (DIN, BS, NFC), reprezintă o primă etapă pe care o încheiem în anul 1973. Am început și continuăm lucrările pentru obținerea unor omologări de produse reprezentative, la institute de specialitate din străinătate. Concomitent cu fabricarea seriilor din producția de bază a uzinei, extindem gama de motoare speciale cu frînă inclusă, de motoare de tracțiune (avînd în preocupări și motorul pentru viitorul metrou al Capitalei), de motoare pentru acționarea căilor de role ale laminoarelor și modernizăm motoarele pentru instalațiile de ridicat și transportat.

Sînt în fază de proiectare prototipurile unor convertizoare de frecvență de 8000 și 2500 Hz, cu puteri de 250—300 kW, la care avem cereri speciale pentru export.

În domeniul generatoarelor sincrone se va continua asimilarea modelelor fără perii, fapt care va conduce la îmbunătățirea condițiilor de exploatare. Se experimentează construcția grupurilor electrogene cu generatoare flanșate pe motorul diesel, cu vibrații reduse, extinzîndu-se gama acestora, ca și a grupurilor automate de intervenție sau grupurilor sistem „stand-by" pentru alimentarea centrelor de calcul.

La capitolul surselor pentru sudare în curent continuu, atît de contradictoriu ca idee de perspectivă, păstrăm încă încredere în calitatea și eficiența convertizoarelor rotative, diversificînd fabricația în zona a 200—250 A și completînd seria cu produsele de 1500 și 3000 rot/min.

În centrul preocupărilor colectivului U.M.E.B. se află și acțiunea de modernizare a tehnologiei de fabricație. Desigur la o fabricație atît de diversă cu serii mici și mijlocii, problema comportă un grad sporit de dificultate în comparație cu o producție de serie mare. Căile de urmat necesită, în primul rînd, o concepție constructivă și tehnologică de grup, de tipizare maximă a reperelor și procedeelor de lucru (de unde și a sculelor), astfel încît să rezulte loturi optime de fabricație, cărora să li se aplice procese de mare productivitate.

Acesta este, de altfel, sensul dezvoltării uzinei în actualul cincinal și în etapele viitoare. Oarecum limitați de un peri-

metru ce nu poate fi extins (de unde la început întreprinderea se afla într-un cîmp liber, acum este o insulă patrulateră înconjurată de străzi), singura soluție o reprezintă dezvoltarea intensivă, pe suprafețele actuale — și în primul rînd prin introducerea unor utilaje specifice de înaltă productivitate.

Cum, în general, asemenea utilaje specifice nestandardizate, se procură greu atît din țară cît și din import, a apărut ca imperios necesară creșterea posibilităților de autodotare. În uzină funcționează cu rezultate remarcabile, care se cer însă depășite, un serviciu de proiectare și un atelier de autoutilare subordonat, care însumează peste 70 de oameni. Acest sector a avut și are o contribuție deosebită în desfășurarea normală a lucrărilor de punere în funcțiune a noilor capacități de producție, în asigurarea unor utilaje și linii de fabricație specifice industriei de mașini electrice.

Preocupările legate de integrarea procesului cercetare-învățămînt-producție își găsesc în ultima perioadă de timp o rezolvare rodnică în U.M.E.B. Din toamna acestui an funcționează în cadrul uzinei o secție de subingineri a Facultății de electrotehnică din cadrul Institutului Politehnic București. Se desfășoară lucrările de investiții pentru construirea unui grup școlar profesional și a unui centru de dezvoltare pentru mașini electrice speciale, care vor asigura o bază materială mai bună pentru activitatea de cercetare și formare profesională a oamenilor. Uzina are relații bilaterale cu o serie de institute de cercetări și institute tehnice din învățămîntul superior, întreaga activitate fiind îndreptată spre rezolvarea sarcinilor concrete de producție.

Vorbind despre dezvoltarea U.M.E.B. mai putem evidenția faptul că în prezent dispunem de toate condițiile necesare unei activități rodnice, atît din punct de vedere al dotării cu utilaje moderne a uzinei, cît și din cel al rezolvării problemelor social educative.

Paralel cu creșterea avuției tehnice, întreprinderea a fost înzestrată cu cele necesare construirii unei ambianțe de muncă și de viață cît mai productivă și civilizată, fapt care s-a răsfrînt în coeziunea și rezultatele colectivului uzinei. Încă din 1953 a fost dat în funcțiune grupul social principal care cuprinde vestiare și săli de dușuri, o cantină-restaurant cu bucătărie modern utilată și cu sală de mese de 800 locuri, un club cu o bibliotecă de 20 000 volume și cu săli pentru diverse activități cultural-artistice.

Uzina noastră dispune de o creșă și un cămin de zi pentru copiii salariaților, precum și de o bază sportivă la dispoziția salariaților.

Realizînd și depășind an de an sarcinile de producție și de dezvoltare tehnico-economică, Uzina de mașini electrice București și-a îndeplinit cu cinste și rolul de primă uzină electrotehnică din țara noastră, în sensul sprijinirii cu forțe umane și materiale a înființării și dezvoltării altor fabrici de mașini electrice.

Încadrată în efortul colectiv al întregului nostru popor pentru îndeplinirea cincinalului în patru ani și jumătate, U.M.E.B. își face o datorie de onoare în a cinsti a XXV-a sa aniversare ca întreprindere de stat constructoare de mașini electrice, aflîndu-se în primele rînduri ale luptei pentru edificarea României socialiste.

Dr. ing. *C. Răduț*
directorul Uzinei de mașini electrice — București

REALIZĂRI ALE INDUSTRIEI DIN ȚARA NOASTRĂ

Produse existente în fabricația curentă

Radiatoare electrice cu ulei

Printre produsele electrocalorice, care s-au bucurat de aprecierea specialiștilor români și străini cu prilejul expunerii lor la unele tîrguri internaționale, se numără și radiatoarele cu ulei.

Realizate într-o gamă de patru tipuri, cu puteri diferite de : 900 W, 1500 W, 1800 W și 2000 W, radiatoarele electrice cu ulei executate de fabrica „Electromureș" din Tîrgu Mureș sînt destinate încălzirii locuințelor, alimentarea lor cu energie făcîndu-se la tensiunea de 220 V, excepție constituind-o radiatoarele electrice de 900 W, care pot fi alimentate și de la rețeaua de 120 V. Constructiv, aceste radiatoare sînt executate din elemente de calorifer confecționate din tablă și umplute cu ulei, numărul elementelor variind în funcție de puterea radiatorului. Astfel, radiatoarele de 900 W dispun de șapte elemenți, cele de 1500 W au douăsprezece elemenți, cele cu o putere de 1800 W au patrusprezece elemenți, iar cele de 2000 W, nouăsprezece elemenți. Încălzirea uleiului aflat în corpul acestor elemenți se realizează cu ajutorul elementelor încălzitoare în tuburi metalice. În vederea reglării temperaturii aceste radiatoare dispun de regulatoare de temperatură cu bimetal. Pentru a putea fi ușor deplasate în interiorul locuințelor ele sînt montate pe roți.

E.K.

Centrale telefonice pentru instalații tip „PENTACROSS"40

Dintre produsele care se remarcă prin caracteristici tehnice superioare, fabricate de uzina Electromagnetica din București, atît pentru necesitățile economiei naționale cît și pentru piața externă, fac parte și centralele telefonice automate „Crossbar-Pentaconta" de tip urban (fig. 1), interurban, tandem, pentru instituții etc., de diverse capacități, realizate în baza unei licențe achiziționate de la firma belgiană „Bell-Telephone". Deosebit de solicitate se dovedesc a fi centralele de instituții de tip „Pentacross 40" destinate realizării legăturilor telefonice între posturile interioare, precum și cu abonații din centralele de oficii. Exploatarea acestor centrale automate asigură o variată gamă de servicii,

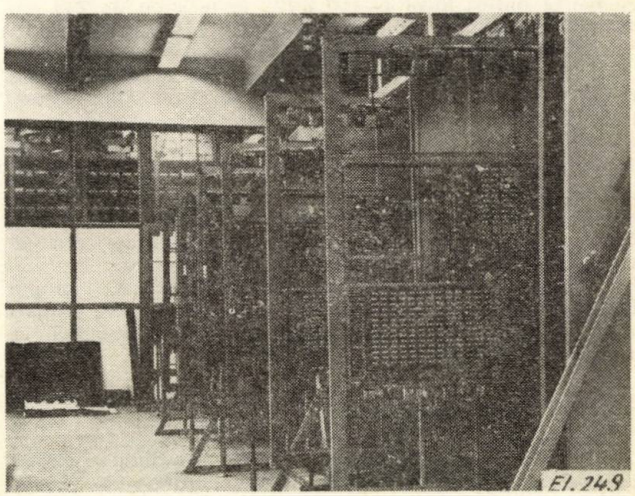


Fig. 1

dintre care amintim : stabilirea de legături automate între posturile locale prin numerotare cu două cifre, legături automate spre rețeaua publică pentru posturile telefonice care au acces la oraș, transferul legăturilor telefonice intrînde de la rețeaua publică spre posturile locale prin intermediul mesei operatoare, transferul circuitului de conexiune cu orașul, transferul automat al unui trunchi spre operatoare ; apel de informare (re-apel), liberarea automată a circuitelor, serviciu de siguranță, secretul convorbirii, restricții pentru apeluri spre rețeaua publică, serviciul de noapte, serviciu de noapte automat, intrare peste ocupat cu semnal de avertizare și semnalizare de alarmă.

Centrala telefonică automată ,,Pentacross" — 40 mai poate oferi și circuite de conexiune auxiliară, prioritate pentru unele posturi telefonice, apeluri de informare spre rețeaua publică, numere comune, linii cuplate, apel direct la operatoare prin formarea cifrei 9, conexiuni în lanț, semnalizarea automată la postul operator pentru apelurile intrînde, rezervarea trunchiurilor cu orașul și restricții temporare.

Dacă este nevoie, acest tip de centrală telefonică poate presta și servicii suplimentare, ca efectuarea de intercomunicații între centrale de întreprindere diferite. Acest serviciu se prevede numai la acele centrale, care urmează a fi interconectate cu alte centrale telefonice automate de întreprindere, realizarea fiind posibilă în funcție de tipul centralei cu care se vor conecta.

Uzina ,,Electromagnetica" execută acest tip de centrală în trei variante prezentate în tabela alăturată.

	Pentacross 40 A	Pentacross 40 B	Pentacross 40 C
● Numărul trunchiurilor			
— echipate	3	5	5
— cap finală	5	5	5
● Numărul posturilor			
— echipate	20	30	40
— cap finală	40	40	40
● Numărul circuitelor cordon			
— echipate	3	4	4
— cap finală	4	4	4

Caracteristici tehnice : tensiunea nominală de alimentare este de 48 V cu toleranțe 44 V — 56 V ; frecvența curentului de apel 50 Hz — 60 Hz în funcție de frecvența rețelei ; rezistența maximă a liniei, inclusiv aparatul telefonic este 1000 ohmi ; temperatura mediului ambiant cuprinsă între +15°C și +40°C ; umiditatea relativă a aerului 40% — 70% ; rezistența de izolament al liniei locale minimum 20 000 ohmi.

Uzina ,,Electromagnetica" mai produce pentru uzul instituțiilor și centrale ,,Pentacross" cu 200 și cu 1000 de posturi.

E.K.

Mașini electromecanice de calculat.

Printre produsele aflate în fabricația curentă ale uzinei ,,Electromureș", din Tîrgu Mureș, care sînt solicitate continuu de economia națională pentru performanțele sale tehnice, se înscriu și cele două tipuri de mașini de calculat electromecanice ,,Mureș 12 A" și ,,Mureș 12 M". Primul tip, ,,Mureș 12 A" este o mașină de calculat cu imprimare, destinată în special pentru raționalizarea calculelor în birourile moderne. Cu această mașină se realizează, pe lîngă adunare și scădere înmulțirea prin adunare repetată. Ca construcție este simplă, practică, de un format sobru, elegant, cu o tastatură bine concepută, avînd un colorit discret, care nu distonează în orice decor. Tastele de introducere a cifrelor au forma degetelor, tastele 4, 5 și 6, puțin mai concave, servesc drept repere, în timp ce se lucrează fără a privi tastatura. Numerele înscrise pe bandă sînt clare, asigurînd o citire rapidă. Portivit regulilor contabilicești numerele negative sînt înscrise pe bandă cu roșu. Demn de remarcat, în construcția mașinii, este faptul că 90 la sută din totalul pieselor ce o alcătuiesc sînt prelucrate pe utilaje românești.

Cel de al 2-lea tip ,,Mureș 12 M" este o mașină de calculat electromecanică perfecționată, care permite efectuarea atît a operațiilor de adunare și scădere, cît și a celor de înmulțire, complet automatizat. Înmulțirile rapide se fac prin utilizarea a două taste de acționare. Mașina poate fi folosită la calcularea procentelor, în cazuri de rețineri, dobînzi etc., care se înscriu automat pe banda de hîrtie. De concepție nouă, mașina de calculat ,,Mureș 12 M " realizează o viteză ridicată de calcul : 250 n/min, deci, un ritm rapid și eficient de lucru. Este o mașină silențioasă, întregul mecanism fiind fixat pe amortizoare de cauciuc ; carcasa asigură o bună izolare acustică, funcționează fără zgomot și vibrații.

A.C.

Invenții—Inovații

Stand pentru verificarea fiabilității motoarelor electrice

Standul este destinat verificării fiabilității motoarelor electrice asincrone trifazate de uz general, permițînd ca la încercarea lor în sarcină să se poată corela condițiile de încercare cu cele din exploatare (electrice, termice, mecanice).

Construcția prezentată este destinată încercării concomitente a unui număr de 10 mașini ; la comandă, instalația se poate dimensiona pentru numărul de motoare dorit (fig. 1).

Realizat sub formă modulară, standul permite, cu ajutorul unei scheme logice, să poată fi încercate orice construcții de mașini electrice trifazate de uz general și cu rotorul în scurtcircuit, la parametri egali, ori apropiați de cei din exploatare, sau la alți parametri impuși.

Metoda de bază preconizează cuplarea mecanică între ele a două motoare identice, astfel încît unul funcționează în regim de motor, iar celălalt în regim de generator asincron, la o putere stabilită în prealabil. Schimbarea reciprocă a rolului celor două mașini este asigurată cu sau fără reversarea cuplajului. Numărul de cuplaje poate fi reglat după voie între 6...180 reversări pe oră și poate fi înregistrat

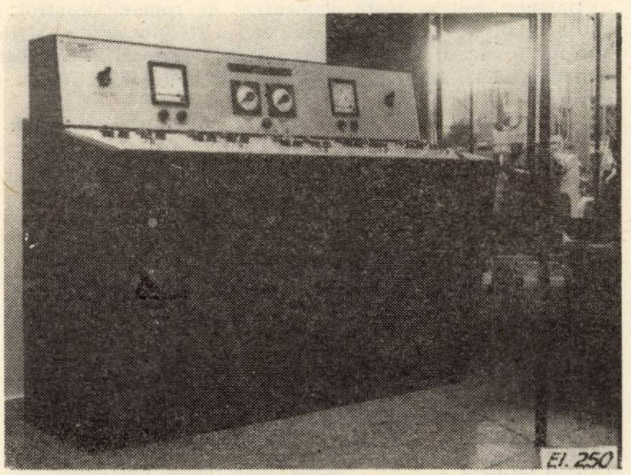


Fig. 1

Standul este prevăzut cu echipamentul de măsură a tensiunilor şi timpilor stabiliţi de regimul de funcţionare, protecţie antibifazică, rezistenţe de sarcină şi baterii de condensatoare, ceea ce permite extinderea posibilităţilor de aplicare.

Se realizează de I.C.P.E., la comandă, şi face obiectul unui brevet românesc de invenţie.

Fl.T.

Instalaţie cu jet de plasmă pentru acoperiri refractare

Instalaţia este destinată efectuării în mod specializat a unor acoperiri cu materiale refractare sau ultrarefractare, prin pulverizarea lor, în stare topită, pe un suport oarecare (capete de lance în cuptoare, palete ventilator etc.), fiind concepută sub forma unui dulap compact, transportabil pe role, la care se pot racorda două grupuri de sudură de tip curent.

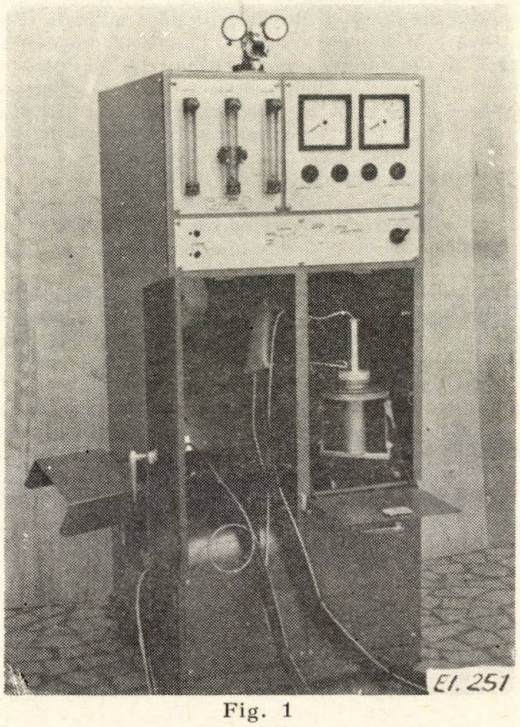


Fig. 1

În spatele dulapului, pe aceeaşi platformă, se dispun buteliile de gaz sub presiune, cu reductoarele lor.

Dulapul conţine toate elementele de comandă-control şi de protecţie automată a instalaţiei, casetele în care se strîng arzătorul cu furtunurile, precum şi dozatorul de pulbere funcţionînd cu azot, cu argon, sau cu amestec de argon + azot.

Tabela 1

	Funcţionare cu	
	Argon	Azot
Curent	200 — 650A	250 — 360 A
debit gaz lucru	1000 —2500 l_N/oră	1500 —2000 l_N/oră
tensiune	26 — 34V	65 — 80V
tensiune de amorsare	45 — 50V	amorsare în organ
debit apă de răcire	10 l/min	minim 8 l/min
capacitatea dozatorului	1,5 — 2 l	1,5 ... 2 l
debit pulbere	aprox. 300—2000 cm^3/oră	

Utilizînd această instalaţie se pot obţine straturi termosau electroizolante (ceramice, de pildă Al_2O_3 sau Z_rO_2 pe metal), straturi dure, prelucrări şi formări de piese din materiale refractare sau ultrarefractare, tratamente termice superficiale.

Dintre caracteristicile mai importante menţionăm pe cele din tabela 1.

Instalaţia este realizată de I.C.P.E., se livrează la cerere şi face obiectul unui brevet de invenţie al institutului.

Fl.T.

Vopsea conductoare pentru metalizarea izolatoarelor de la transformatoarele locomotivelor electrice de 5 100 kW.

Izolatoarele necesare pentru echiparea transformatoarelor de la locomotivele electrice de 5 100 kW se procurau din import cu un preţ valutar ridicat şi cu implicaţiile unor mari întîrzieri la livrare. Pentru înlăturarea greutăţilor expuse s-a ajuns la concluzia procurării acestor izolatoare din ţară, cu condiţia metalizării lor. La uzina „Electroputere" Craiova, unde se folosesc asemenea izolatoare, s-au încercat mai multe procedee de metalizare printre care metalizarea cu aluminiu şi metalizarea prin grafitare, fără a se obţine rezultatele dorite, întrucît pelicula grafitată se desprindea de pe izolator, căzînd în uleiul transformatorului şi micşorîndu-i proprietăţile dielectrice.

O inovaţie, făcută de tovarăşul Tache Dumitru, înlătură toate greutăţile, prin realizarea unei vopsele conductoare, care, aplicată pe izolatoare le dă caracteristici necesare exploatării, figura 1.

În componenţa vopselei conductoare pentru metalizat izolatoarele intră pulbere metalică de zinc, iar ca liant lac incolor. Această compoziţie se aplică pe izolatoare cu pensula

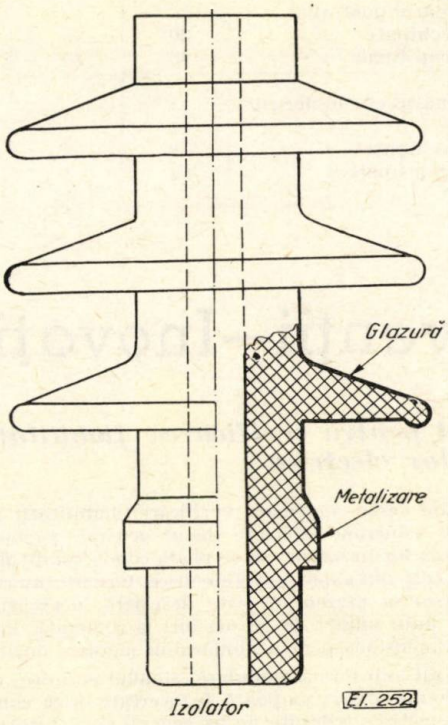


Fig. 1

într-o peliculă cu grosimea de 50 μmm în stare uscată, realizîndu-se o conductibilitate electrică de circa 80Ω, rezistenţa stratului şi o aderenţă perfectă. Aplicarea vopselei se face numai cu pensula deoarece din cauza diferenţei prea mari între greutatea specifică a pulberei de zinc şi cea a liantului, vopseaua se sedimentează repede, nepermiţînd folosirea pistolului la aplicarea ei. Pentru regenerarea vopselei,

în cazul măririi viscozității, se adaugă acetona pînă la diluția necesară.

Printre avantajele unei asemenea pelicule de vopsea se numără rezistența la acțiunea uleiului de transformator la 100°C și la cea a produselor petrolifere (benzină, benzen, motorină, petrol, witte spirt etc.), precum și la acțiunea alcoolului medicinal sau a celui dublu rafinat. Curățirea se poate face, deci, cu acești alcooli sau cu produsele petrolifere menționate, în cazul cînd izolatoarele se murdăresc datorită diferitelor depuneri. Acetona nu se va folosi la curățire, întrucît aceasta va dizolva pelicula.

Un alt avantaj este eliminarea importului și economia de valută necesară procurării acestuia.

A.C.

Dispozitiv pentru tensionarea conductoarelor de cupru în timpul bobinării.

Autotransformatoarele de 400 MVA au bobinajul de înaltă tensiune de tip întrețesut cu două semibobine în paralel. Acest bobinaj se execută din perechi de galeți drepți (pentru a se realiza o bună strîngere a acestora), bobinîndu-se atît din fața, cît și din spatele mașinii de bobinat. Pentru a se executa întrețesarea (fig. 1) conform tehnologiei de fabricație, se bobinează cu patru conductoare în paralel, apoi se execută galetul cu soț fals, se coboară conductoarele către galetul fără soț și se execută transpoziția și legăturile de gardă. Toate aceste operații se fac din spatele mașinii de bobinat. Urmează apoi operațiile ce se execută din fața mașinii astfel: se dă galetul cu soț înapoi, adică se rulează pe tamburi, se trece conductorul prin filiera pentru tensionare, apoi se execută galetul cu soț ca un galet drept. La început cînd se bobinează galetul cu soț, acesta se execută cu circa o jumătate de spiră

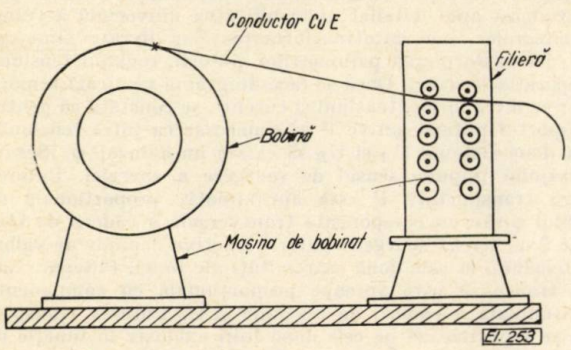


Fig. 1

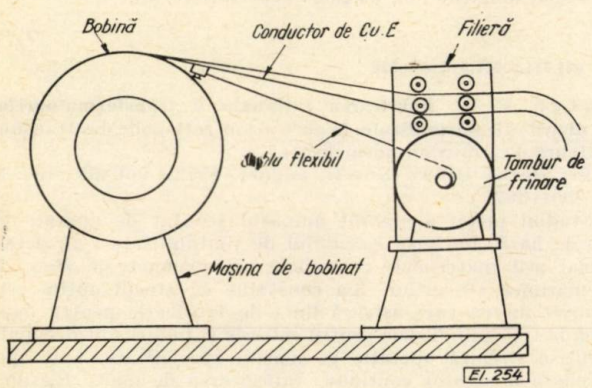


Fig. 2

în plus, lungime de conductor necesară tensionării lui, conform tehnologiei de fabricație, atunci cînd se bobinează cu galet drept, adică distanța de la filieră pînă la galet. Această lungime reprezintă circa 3—4 m conductor în paralel, adică circa 12 m de conductor de cupru electrolitic, de 3,28 × × 16,8 mm pentru fiecare galet cu soț. După ce s-a bobinat și tensionat, acest conductor se taie și devine deșeu. Pe o bobină sînt 38 galeți cu soț, ceea ce înseamnă că de la fiecare bobină se rebutează circa 400 m, respectiv circa 1 200 m conductor pe transformator, reprezentînd circa 800 kg cupru electrolitic deșeu pe un transformator. Pentru a elimina aceste deficiențe inovatorul Dinu Paul de la uzina „Electroputere" Craiova, a conceput și executat un dispozitiv de tensionat conductoarele (fig. 2) eliminînd astfel tensionarea conductoarelor executate în sistemul vechi cu ajutorul filierei (fig. 1).

În sistemul nou, galetul cu soț se va bobina cu numărul de spire prevăzut în documentație, în momentul cînd conductoarele sînt aproape să iasă din filieră se execută următoarele operații: se prinde galetul, cu dispozitivul existent în atelier, pentru a nu se slăbi și apoi se scot conductorii din filieră. Primul din cele 4 conductoare în paralel ale bobinajului se fixează de cablul flexibil (1) de pe tamburul de frînare al noului dispozitiv (fig. 2), cu ajutorul mașinii de bobinat (4). În continuare urmează bobinarea și tensionarea tuturor galeților pînă la finisarea bobinei pentru transformator.

Prin aplicarea acestui sistem se elimină deșeurile de conductoare de cupru electrolitic, realizîndu-se importante economii de material, îmbunătățirea calității bobinajului și ușurarea efortului fizic depus de muncitori în timpul bobinării.

A.C.

Un nou sistem de pornire a motoarelor „direct de la rețeaua de c. a., construit la uzina „23 August" din Capitală

Supunerea motoarelor, construite la uzina „23 August" la probleme de anduranță, impunea demararea acestora cu ajutorul unor motoare electrice de c.c. Puterea motoarelor demaroare este de 6 și 16 CP, respectiv 4,4 și 11 kW. Șocul de curent maxim absorbit de la sursă de către demaror atinge valori de 1000 A și mai mari, fapt ce a făcut ca aceste motoare să nu poată fi pornite decît cu ajutorul unui set de baterii tip 3. VIII, Ky 285, 6V, 400 Ah. Încărcarea bateriilor se realizează, cu redresoare, de la rețeaua de c.c. a uzinei. Instalația la care se face încărcarea prezintă o serie de neajunsuri ca, degajări de gaze nocive, reparații, înlocuirea bateriilor uzinate, incomoditate în exploatare, cheltuieli mari de întreținere etc.

În vederea înlăturării acestor dezavantaje s-a realizat un nou sistem de pornire a motoarelor, direct de la rețeaua de c.a.

Noutatea constă din construirea unui transformator, cu o valoare care să permită funcționarea numai atît timp cît ține demararea. Transformatorul, de construcție specială, asigură limitarea curenților la scurtcircuit. Cu acest dispozitiv se pot porni toate motoarele dintr-o hală, fără să mai fie condiționat de gradul de încărcare a bateriei. Principalele părți componente ale aparatului sînt:

— 1 transformator electric trifazic Δ/y: 380/40V;
— 6 diode cu siliciu — Si 200 × 1,5;
— 1 contractor trifazic de 60 A;
— 3 siguranțe L.F. de cîte 60 A;
— 1 buton de pornire — oprire;
— 1 cablu trifazic 3 × 10 + 6, lung de 25 m.

Toate aceste elemente sînt montate pe un stelaj metalic cu gabaritul de 800 × 600 × 300 mm. Dispozitivul este mobil, putînd fi ușor transportat la locul necesar; racordarea la rețeaua trifazică se face printr-un cablu prevăzut cu priză trifazică cu conductor de legare la pămînt. Redresarea este trifazică monoalternantă, asigurînd pornirea atît a motoarelor — demaror de 15, CP cît și a celor de 6 CP.

Avantajele pe care le prezintă noul sistem de pornire a motoarelor, realizat de Stănescu Corneliu, sînt următoarele:

1 — elimină setul de baterii consumabile și reduce cheltuielile de întreținere;

2 — înlătură prezența redresorului sau a generatorului de c.c.;

3 — elimină pierderile de energie electrică datorate randamentului scăzut al bateriilor (60%);

4 — prezintă ușurință în exploatare;

5 — sistemul se poate extinde în industrie (de exemplu, la grupurile de foraj, unde există rețea de c.a., renunțîndu-se la instalația de redresori, bateriile și personalul de deservire a acestora).

A. C.

NOI MATERIALE DOCUMENTARE

CZ 621.313 *Mașini electrice*

CZ 621.313.322–82.004.13

Groza, I., Creţu, D., Opaschi, C., Vreme, A., Zlatanovici, D. **Funcţionarea în regimuri anormale şi speciale a marilor hidrogeneratoare cu viteză de rotaţie mică.** (Le fonctionnement dans des regimes anormaux et speciaux des grands hydrogenerateurs a petite vitesse de rotation). În: Sesiunea CIGRÉ 1972 — 28 august — 6 septembrie.

În exploatarea marilor grupuri generatoare sînt posibile regimuri anormale şi speciale , ca de exemplu, regimul de subexcitare, funcţionarea la tensiune redusă, funcţionarea separată de restul reţelei, funcţionarea în sarcină asimetrică sau deformantă, regim asincron şi cuplaj asincron. Constructorii limitează uneori, mai mult decît este necesar, funcţionarea în astfel de regimuri, alteori, nu dau precizări suficiente pentru utilizarea maşinii în limita admisă de parametrii constructivi. Cunoaşterea limitelor admisibile de exploatare este foarte importantă pentru elasticitatea sistemului şi din această cauză studiile teoretice şi experimentale ce au ca scop precizarea comportării maşinii în astfel de regimuri prezintă o semnificaţie deosebită. Încercările efectuate cu un generator de 190 MVA, 15,75 kV, avînd o viteză de rotaţie de 71,5 ture/min au dus la concluzii interesante. Astfel, s-a demonstrat că funcţionarea generatorului în anumite regimuri speciale şi anormale, cum ar fi sarcină capacitivă, funcţionare separată de restul reţelei etc. prezintă avantaje tehnico-economice care pot fi puse în valoare cînd se cunosc mai bine posibilităţile reale ale grupului. În regim subexcitat temperaturile zonelor frontale ale hidrogeneratorului studiat nu ating limitele prevăzute la sarcina indicată de constructor. Limitele indicate de stabilitatea statică în timpul funcţionării în regim subexcitat sînt mai puţin severe decît cele dotate încălzirii zonelor frontale ale circuitului magnetic. Realizarea dispozitivelor neliniare şi adaptabile pentru limitarea curentului minim de excitaţie, în vederea extinderii la maximum a zonei de funcţionare în regim subexcitat, ar permite o mai bună utilizare a hidrogeneratoarelor. Regulatoarele moderne de tensiune şi de viteză, destinate funcţionării marilor hidrogeneratoare într-o reţea interconectată ameliorează cu atît mai mult, în cazul studiat, funcţionarea maşinii, cînd este separată de la sistem.

T.C.

CZ 621.313.322–81

Abolins, A., Achenbach, H., Lambrecht, D.— **Principii de bază şi caracteristici de funcţionare a marilor turbo-alternatoare cu patru poli şi excitaţie cu semi-conductori, destinate centralelor nucleare.** (Principes de base et caracteristiques de fonctionnement des grands turboalternateurs a quatre poles et a excitation par semi-conducteurs, destinés aux centrales nucleaires). În: Sesiunea GIGRE 1972 — 28 august — 6 septembrie.

La puteri unitare ridicate, caracteristicile vaporilor produşi de reactoarele cu apă uşoară impun reducerea vitezei turbinei, ceea ce conduce la utilizarea turbo-alternatoarelor cu patru poli. Un astfel de alternator, avînd puterea de 1530 MVA se construieşte în prezent pentru centrala de la Biblis. Reducerea vitezei de rotaţie de la 3000 rot/min la 1500 rot/min impune creşterea apreciabilă a greutăţii rotorului. Pentru maşina de 1530 MVA greutatea rotorului după forjare este de 196 tone. Construcţia rotoarelor de această mărime impune investiţii considerabile la fabricant. Alegerea soluţiei de răcire cu apă a bobinajului rotor reduce dimensiunile circuitului magnetic ale rotorului, determinînd astfel reducerea investiţiei la constructor. Aceasta a permis ca arboretele maşinii de 1530 MVA să fie realizat dintr-o singură bucată. Ţinînd seama de stadiul actual al tehnicii se consideră că vor putea fi executate rotoare dintr-o singură piesă pentru puteri pînă la 2500 MVA. În prezent este în construcţie un rotor de 240 tone pentru un generator de 2000 MVA. Valoarea ridicată a curentului de excitaţie al marilor generatoare cu patru poli impune un sistem de excitaţie fără inele colectoare. Caracteristicile dinamice ale unor astfel de sisteme de excitaţie sînt cu totul corespunzătoare. Înfăşurările statorului şi conexiunile sînt răcite prin circulaţie directă cu apă. Circuitul magnetic al statorului ca şi suprafaţa fierului rotorului sînt răcite cu hidrogen, avînd o presiune relativă de 4 atmosfere. În stator apa circulă cu viteza de 1,5 m/s iar în rotor cu 3—4 m/s. Izolaţia barelor statorului este de tip continuu, formată din bandă samicasticlă, impregnată sub vid cu răşini epoxidice. Sistemul de împănare al capetelor frontale este termorigid.

T.C.

CZ. 621.314.2 *Transformatoare*

CZ 621.314.2.013.1

Dobsa I. — **Transformatoare pentru reglajul longitudinal, diagonal şi transversal.** (Transformateurs pour le réglage longitudinal, diagonal et transversal).

În: Revue Brown Boveri, august 1972, vol. **59**, nr. 8, p. 376—383

Există situaţii în care interconexiunea între două sisteme electroenergetice nu poate fi realizată decît prin defazarea unuia faţă de celălalt, cu ajutorul transformatoarelor sau autotransformatoarelor de cuplare. Pentru a putea realiza aparatele necesare trebuie mai întîi stabiliţi parametrii transmisiei de energie care ţin de sensul acestui transport. În continuare este necesară studierea posibilităţilor de reglaj al tensiunii în direcţiile longitudinală, diagonală şi transversală. Se studiază apoi detaliat aplicabilitatea universală a transformatoarelor sau autotransformatoarelor livrate simultan pentru transformarea parametrilor puterii, reglajul tensiunii şi reparaţia energiei. Dacă se face diagrama verticală a mărimilor ce intră în joc, tensiuni şi curenţi, se constată că pentru transportul puterii active P este necesar ca între tensiunile celor două sisteme U_A şi U_B să existe un defazaj φ. Sensul defazajului impune sensul de scurgere a energiei. Puterea activă transportată P este aproximativ proporţională cu unghiul φ sau cu componenta transversală a căderii de tensiune δ u. Sensul scurgerii puterii reactive depinde de valoarea tensiunii la cele două extremităţi ale liniei. Puterea reactivă transmisă este aproape proporţională cu componenta longitudinală a căderii de tensiune Δ U. Puterea transportată se repartizează pe cele două linii exclusiv în funcţie de caracteristicile acestora. Modificarea acestei repartiţii se poate realiza prin transformatoare sau autotransformatoare cu reglaj longitudinal, diagonal sau transversal.

T.C.

CZ 621.314.2:621.312:658.516

Suter P. — **Fabricarea raţională a transformatoarelor de distribuţie normalizate.** (Fabrication rationelle des transformateurs distribution normalisés).

În: Revue Brown Boveri, august 1972, vol **59**, nr. 8, p. 365—367

Studiul pieţei a stabilit numărul scontat de aparate pe tip de bază. Pe baza calculului de rentabilitate s-au determinat atît materialele ce trebuie aprovizionate în stoc, cît şi mărimea stocurilor. S-a constatat că stocul optim este aprovizionarea care asigură linia de fabricaţie pentru două pînă la trei luni. Tolele pentru coloane şi juguri sînt decupate printr-o singură operaţie pe maşini specializate. Sînt apoi recoapte în cuptor continuu. Înfăşurarea de înaltă tensiune este realizată bloc cu cea de joasă tensiune. Toate legăturile şi conexiunile sînt pregătite înainte, separat. Pereţii cuvelor, fundurile şi ramele sînt executate pe stoc apoi asamblate, la cerere, în atelierul de sudură. Toate cuvele de acelaşi tip construite în timpul unei săptămîni sînt reunite într-un lot. Controlul etanşeităţii cuvelor se face cu ulei încălzit la 80°C. În continuare sînt trecute prin instalaţia de tratare a suprafeţelor. Suprafaţa exterioară a cuvei este curăţată şi degresată în vapori; se aplică apoi două straturi de vopsea, pren cufundare. Pereţii cuvelor sînt din tablă ondulată.

Montajul părților active se face pe linia de montaj și cuprind următoarele operații: depunerea miezului magnetic pe căruciorul de montaj, care se poate deplasa manual, demontarea jugurilor superioare, montajul bobinelor, împachetarea jugului superior, montarea capacului și bornelor, execuția conexiunilor. După fiecare operație cărucioarele sînt deplasate la operația următoare. Fiecare loc de muncă este prevăzut cu sculele și materialele de montaj necesare. Părțile active montate în timpul zilei sînt uscate noaptea sub vid. Ziua următoare sînt verificate, se strîng buloanele slăbite prin uscare, apoi se introduc în cuve și se umplu cu ulei. În capul liniei de montaj se află platforma de încercări. Se face apoi vopsirea finală și pregătirea de expediție.

T. C.

CZ 621.312:621.314.2:658.516

Michaud B., Degraeve F. **Utilizarea calculatorului în construcția transformatoarelor de puteri normalizate.** (Emploi de l'ordinateur dans la construction des transformateurs de puisance normalisés).

În: Revue Brown Boveri, august 1972, vol. **59**, nr. 8, p. 371–373.

Întocmirea documentelor normalizate pentru transformatoarele de putere cere definiții exacte, reguli de utilizare și tehnologice precise ale seriilor de elemente precalculate. Exploatarea documentelor normalizate constă în faptul că pentru un transformator cerut trebuie să se aleagă, din seriile de elemente normalizate, acelea care răspund funcțiilor dorite, respectînd regulile cunoscute și definite de incompatibilitatea de asamblare. Metodele de normalizare utilizate înainte nu făceau apel la calculator și din această cauză aveau o valoare limitată. Metodele de normalizare actuale trebuie să permită optimizarea, să asigure o precizie de alegere a elementelor și de calcul care să evite orice risc de eroare. Calculatorul permite o astfel de normalizare. Optimizarea este fundamentală; ea reprezintă posibilitatea de a relua de un număr de ori dorit calculul unui ansamblu, după calcularea unui alt ansamblu care l-a modificat, ținînd seama de o regulă de optimizare și de o funcție de corelație. Rigoarea și precizia calculelor și alegerilor permite o calitate de concepție și de fabricație uniformă pentru toate aparatele. O dată documentele stabilite, programele pentru calculator fiind realizate și verificate, exactitatea soluțiilor alese este sigură. Perioadele de studiu și punere la punct a documentelor, în faza realizare sînt importante dar această muncă considerabilă este pe deplin justificată de exploatarea ulterioară.

T. C.

CZ 621.314.2.016.22

Bachr R, Edlinger A. **Construcția transformatoarelor de foarte mare putere.** (La construction des transformateurs de trés grande puissance).

În: Revue Brown Boveri, august 1972, vol **59**, nr. 8, p. 384–389

Pentru transformatoarele de foarte mare putere (peste 500 MVA) apar probleme de proiectare ce ridică dificultăți deosebite. Pentru astfel de unități circuitul magnetic are 5 coloane în trifazat și 2 pînă la 6 coloane în monofazat. Problemele cele mai dificile, din punct de vedere tehnic, le ridică construcția înfășurărilor. După caz, se utilizează dispoziția concentrică dublă sau multiplă a înfășurărilor, ca și dispoziția concentrică simplă. Trebuie amintit că pentru astfel de unități trebuie să se utilizeze două tipuri de înfășurări care pun mai multe probleme decît toate celelalte. Acestea sînt înfășurările de joasă tensiune, pentru curenți foarte mari, ale transformatoarelor de generator, precum și înfășurările secundare pentru curenți foarte mari și tensiuni foarte înalte ale acelorași transformatoare. Trebuie precizat totuși că și pentru aceste înfășurări se poate utiliza tehnica cunoscută de izolație — hîrtie — transformer-board — ulei. Îmbunătățirile aduse tehnicilor de calcul și metodelor tehnologice au permis realizarea de către Brown Boveri a unei unități trifazate de 1300 MVA, transportabile pe cale ferată în diverse părți componente. Ținînd seama de dezvoltările actuale se poate afirma cu siguranță că astăzi se pot atinge, din unități monofazate, puteri de aproximativ 3000 MVA pentru autotransformatoare, avînd tensiuni de 1200/525 kV și 2000 MVA pentru transformatoare de 1200/24 kV.

Problemele de dispersie și răcire, ridicate de construcția unor astfel de unități, pot fi rezolvate prin extrapolarea soluțiilor deja cunoscute.

T. C.

CZ 621.317 *Tehnica măsurilor electrice*

CZ 621.317.001.5.

Bassler, H. **Transferul de sarcină de la metal la un izolator organic, ca pas primar al încărcării electrostatice.** (Der Ladungsübergang von Metall zum organischen Isolator als Primarschritt der elecktrostatichen Aufladung). În: Kunststoffe **62**, nr. 2, 1972, p. 116–119, 9 ref., 9 fig.

Încărcarea pe cale electrostatică a dielectricilor limitați de un metal, constituie un fenomen frecvent utilizat astăzi, cînd tehnologiile bazate pe principii electrostatice capătă o largă utilizare. În anumite industrii însă, cum sînt, cea a textilelor și industria chimică, fenomenul prezintă pericole, iar evitarea acumulărilor de sarcină, se impune cu deosebită acuitate.

Articolul tratează mecanismul de apariție al sarcinii de la metal la un izolator organic, bazat pe un model pentru producerea sarcinii electrostatice la suprafața de contact dintre dielectric și metal. Se explică cauzele datorită cărora se modifică echilibrul purtătorilor de sarcină și se motivează apariția fenomenelor electrostatice remanente. Pe baza nivelelor Fermi și a potențialului de extracție a electronilor se explică situațiile în care poate să apară și să se mențină o sarcină spațială.

Fl. T.

CZ 621.382.3 *Transistoare*

CZ 621.314.63.017.7:621.314.57/58

Cornich, I. A. F. și Ramsbottom, M.I. **Creșterea temperaturii instantanee în tiristoare, funcționînd în invertoare și variatoare de tensiune continuă.** (Instantaneous temperature rise in thyristors under invertor and chopper operating conditions). În: P.I.E.E. **119**, nr. 8, 1972, p. 1141–1148.

Se prezintă o metodă generală de calcul al valorii instantanee a creșterii temperaturii într-un tiristor. Metoda ia în considerare atît disiparea de putere în prioada de conducție, cît și pe cea în perioada de amorsare și de dezamorsare a tiristorului, ceea ce o face deosebit de atractivă la calculul temperaturii punctului celui mai solicitat termic din imediata apropiere a electrodului de comandă, la tiristoarele ce lucrează în mutatoare forțate cu frecvență mare de comutație sau la $\frac{di}{dt}$ ridicat. Se stabilește o expresie pentru calculul creșterii temperaturii instantanee a punctului cald în diferite condiții de funcționare. Calculul efectuat cu o mașină digitală poate fi redus ca volum dacă puterea disipată în procesul de comutație este introdusă în calcul după o schemă indicată în lucrare.

Creșterea valorii maxime și a celei medii a temperaturii punctului cald permite stabilirea condițiilor de funcționare pentru tiristor. Pentru stabilirea posibilităților de evacuare a căldurii din zona joncțiunii, în perioadele de amorsare și dezamorsare, se integrează ecuația difuziei căldurii pentru un model cu conducție unidirecțională a fluxului termic.

O.L.

CZ 621.335.4 *Automotoare*

CZ 621.335.43.09

Evoluția autovehiculelor electrice — Vedere generală. (Elektro – Strassenfahrzeuge – Ein Überblick). În: ETZ -B nr. 14/1972, p. 352–353, 2 foto.

La Tîrgul internațional din Hannover 1972 s-a prezentat, printre altele, o vedere de ansamblu a evoluției autovehiculelor electrice, de persoane și de marfă, cauza principală fiind înlăturarea poluării aerului. S-au arătat diferite variante privind începerea fabricației în serie a electrovehiculelor, indicîndu-se și metode simple și ieftine pentru schimbarea acumulatorilor. O mare parte din mașinile prezentate au fost experimentate cu rezultate bune. Astfel, un electromobil de persoane, care în 1971 a realizat mai multe recorduri mondiale a fost construit de un grup de întreprinder[illegible]

cu renume (Opel, Bosch, Continental, Varta). Maşina este acţionată de 2 electromotoare cuplate mecanic, alimentate de către o baterie compusă din 290 de elemente de nichel-cadmiu, iar pentru distanţe mai mari, din 360 de asemenea elemente. Cu o viteză medie de 100,8 km/h s-au parcurs 44 km cu o singură încărcare a bateriei de acumulatori. Greutatea relativă a motoarelor de acţionare este 2,2 kg/kW.

Un autocamion construit în cooperare de către firmele Daimler, Benz, Varta etc, primeşte energia de la o baterie cu plumb, care este plasată sub maşină, într-un dispozitiv de susţinere, care permite introducerea bateriei dintr-o parte şi scoaterea ei din partea opusă a maşinii. Scoatarea unui acumulator şi înlocuirea lui cu unul încărcat nu durează mai mult decît alimentarea cu benzină a unui vehicul.

Întreprinderile V. W. Bosch, Varta au realizat un vehicul de serie, care va fi pus în circulaţie de probă (într-un număr mai mare) în 1973. Un alt grup de întreprinderi a prezentat o inovaţie constînd dintr-o caroserie autoportantă din material sintetic. Problemele de izolaţie electrică sînt eliminate aici întrucît conductorii sînt introduşi în masa sintetică odată cu turnarea acesteia. Apoi greutatea redusă a materialului sintetic compensează parţial greutatea bateriei de acumulatori, care furnizează 35 Wh/kg de greutate proprie. Este arătată de asemenea, o maşină mică de oraş, pentru 2 persoane, cu caroseria din material plastic elastic şi rezistent la coroziune. Toţi consumatorii din maşină (motoare, lumină etc.) sînt alimentaţi de la o baterie de 80 V/150 Ah, care se înlocuieşte cu uşurinţă după epuizare, prin metoda expusă mai sus. Încă de la începutul anului 1971 se experimentează un electrobuz pentru 115 călători a cărei baterie se găseşte într-o remorcă. Pentru reducerea gabaritului bateriei se experimentează şi un sistem combinat. Un alt tip de electrobuz cu 66 de locuri posedă atît o baterie de acumulatori, cît şi un grup diesel de încărcare. În interiorul oraşelor electrobuzul este antrenat de electromotoare, iar în afara zonei urbane intră în funcţiune grupul Diesel acţionînd electrobuzul şi încărcînd concomitent bateria.

În R.F.G. s-a înfiinţat o întreprindere care construieşte staţii de schimb pentru bateriile standardizate, asemănătoare cu benzinăriile, unde se plăteşte doar costul încărcării bateriei.

Gh. C.

CZ 621.365.5 ***Generarea căldurii prin inducţie magnetică***

CZ 621.365.5 : 669.04

Încălzirea electrică a metalelor prin inducţie (Le chauffage électrique de métaux par induction). În : Bull. ASE **63**, nr. 23, 1972, p. 1351–1374.

Lucrarea reprezintă un raport al Comisiei elveţiene electrotermice asupra bazelor tehnice ale încălzirii prin inducţie. În industria metalelor şi constructoare de maşini 7–8% din necesarul global de energie este preluat de încălzirea prin inducţie, fără a considera electroliza aluminiului. Durata de utilizare relativ mare a acestor instalaţii prezintă avantaje pentru întreprinderile furnizoare de energie electrică, iar puterile instalate sînt din ce în ce mai ridicate, instalaţii pînă la 4500 kW fiind deja în funcţiune. În viitorul aproapiat trebuie să se conteze pe o creştere puternică a numărului instalaţiilor de încălzire prin inducţie datorită avantajelor tehnice ce rezultă şi rentabilităţii ridicate a încălzirii prin inducţie.

După ce se prezintă succint teoria încălzirii prin inducţie, adîncimea de pătrundere, puterea indusă, randamentul, forţele mecanice ce apar în inductor şi piesa încălzită, puterea reactivă şi bilanţul termic, se analizează mijloacele de obţinere a frecvenţei dorite insistîndu-se asupra convertizoarelor statice de frecvenţă cu tiristoare. Avantajele folosirii cuptoarelor de inducţie la producerea oţelului, a fontei şi a metalelor uşoare sînt scoase în evidenţă, prin analiza comparativă a diferitelor procedee metalurgice. Se prezintă principiul şi modul de funcţionare a cuptorului de inducţie cu canal şi a celui cu creuzet.

Încălzirea prin inducţie se caracterizează printr-o viteză ridicată de lucru, ceea ce reprezintă un avantaj deosebit pentru producţie. Se tratează pe larg domeniile de aplicaţie ale încălzirii inductive cele mai importante, indicîndu-se frecvenţele de lucru, durata de fuziune şi tipul de cuptor cele mai indicate. În cele mai multe dintre aplicaţii dezavantajele datorate costului ridicat de investiţie şi consumului ridicat de energie sînt mai mult decît compensate de avantajele datorate încălzirii rapide a pieselor în ritm uniform cu o bună reproductibilitate a temperaturilor, posibilităţii de automatizare, lipsei de praf şi de gaz de combustie.

O.L.

SCURTE ŞTIRI

Un regulator al inimii[1], avînd ca sursă de energie o baterie de izotopi, s-a introdus unui pacient din spitalul Broussois din Paris la data de 1.IV.1970. Pînă la începutul anului 1972 s-au realizat încă 17 asemenea operaţii, după care toţi pacienţii şi-au reluat activitatea. Se apreciază că efectul acestor implantaţii va dura peste 10 ani.

Din: ETZ-B, nr, 15–16, 1972

Circa 95% din apa grea realizată în lume se produce în institutul Weizmann de lîngă Tel-Aviv. Preţul de cost al unui gram se ridică încă şi acum la aproximativ 300 dolari.

Din: ETZ-B, nr. 15–16, 1972

Primele două centrale nucleare plutante de cîte 1150 MW vor fi puse în funcţiune de către S.U.A. pînă în 1980. Locul de amplasare este zona de 3 mile la nord de Atlantic City, New Jersey.

Din: ETZ-B, nr. 15–16, 1972

Un calculator (sub formă de încercare, în S.U.A.) controlează într-o mină de cărbuni la intervale de un minut : oxidul de carbon, hidrogenul, fumul, temperatura şi mişcarea aerului şi dă alarma cînd este vorba de valori periculoase. Datele sînt transmise calculatorului de la senzori instalaţi în multe puncte ale minei.

Din: ETZ-B nr. 15–16, 1972

Condensatoare ceramice avînd constanta dielectrică 50.000 au fost realizate de firma Siemens, care deţine recordul internaţional în această privinţă. Datorită ceramicii „Titanat" s-au realizat condensatoare plate, care au suprafeţe de 2,5 × × 5 ... 7 mm şi capacităţi de 68 ... 220 nF. Acestea prezintă şi unele avantaje faţă de alte condensatoare ceramice, cum ar fi : toleranţe mai mici de capacitate, factor de pierderi redus etc.

Din: ETZ-B, nr. 15–16, 1972

Obişnuitele reclame luminoase colorate realizate cu lămpi incandescente sau fluorescente vor fi înlocuite, în curînd în R.F.G. de cristale lichide. Cristalele lichide au un consum minimal (circa 1 W/m² suprafaţă de reclamă) şi necesită pentru exploatare doar 5 ... 10 V curent continuu.

Din: ETZ-B, nr. 15–16 1972

Cel mai mare generator din Europa cuplat cu o turbină hidraulică (310 MVA) a fost comandat pentru centrala electrică şi de acumulare cu apă (pompare) din Rodund (Austria). Maşina este de construcţie verticală şi poate funcţiona atît ca generator cît şi ca motor, iar turbina de acţionare poate prelua şi rolul de pompă. Turajul este de 350 rotaţii/min, iar conductorii statorului şi rotorului sînt răciţi cu apă.

Din: ETZ-B, nr. 15–16, 1972

Un telemetru în formă de binoclu construit în S.U.A. verifică timpul de parcurs al impulsurilor laser reflectate de obiectul observat, distanţat pînă la 6,4 km. Eroarea de măsurat este sub 10 m. Emiţătorul de raze este un laser cu itriu-aluminiu.

Din: ETZ-B, nr. 18, 1972

O celulă solară realizată într-un laborator de cercetări din S.U.A. transformă lumina în energie electrică cu un randament de 18%. Celula se compune dintr-un cristal de galiu-arsenid acoperit cu un strat subţire de arsenid de galiu-aluminiu.

Din: ETZ-B, nr. 18, 1972

La Tîrgul internaţional din Hannovra 1972, firmele Felten Guilleaume şi Siemens au expus cabluri unifilare de 380 kV cu tensiuni de şoc de 1640 kV în ulei, inclusiv mufele terminale aeriene. Tot întreprinderea Felten Guilleaume a expus cabluri de 380 kV (pentru transmiterea puterii de 1000 MVA) introduse în tuburi de oţel şi cu răcirea artificială a uleiului izolant. Uleiul acestor cabluri „Oilstatic" este pompat în afară în scopul răcirii şi reintrodus cu ajutorul unei pompe de circulaţie.

Din: ETZ-B, 1nr. 5–16, 1972

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

SOMMAIRE

CD 621.3.014.31 :621.316.57.064.3:681.14

Sasu, Mimi : **Une méthode destinnée à l'étude d'un arc électrique, modélé selon l'équation de Cassie et Mason, sur un calculateur analogique.**

Electrotehnica **21**, No 6, juin 1973, p. 209–220

On analyse le comportement dynamique d'un arc électrique d'interruption, auquel on suppose que d'évacuation de l'énergie se réalise tant par conductibilité radiale, que par convection. Partant d'une variante de l'équation de l'arc, de Cassie et Mason, on établit une méthodique de calcul qui permett de résoudre cette équation, couplée avec les équations différentielles d'un circuit de courant alternatif, sur un calculateur analogique. A la suite des études effectuées sur une grande série de calculs, on établit certaines conditions dans lesquelles on atteint soit un réallumage de l'arc, soit son extinction définitive.

CD 621.313.283.013.34

Cojan, M. : **Le moteur pas-à-pas à réluctance variable.**

Electrotehnica **21**, No 6, juin 1973, p. 220–223

Le moteur pas à-pas à réluctance variable est un type de moteur électrique pas-à-pas, utilisé dans le système numérique de commande, qui présente des avantages vis-à-vis des autres moteurs pas-à-pas, par son fonctionnement à des fréquences élevées (2 000 pas/s l'angle du pas étant très petit (1°30′).

L'article présente sommairement le principe de fonctionnement et les caractéristiques du moteur, traitant d'une manière plus détaillée le modèle mathématique, la fonction de transfert, ainsi que les domaines d'utilisation, tout en suggérant les critères pour le choix.

A la fin de l'article, l'auteur présente les moteurs pas-à-pas à réluctance variable, fabriqués par la firme MEZ-Nachod de la R.S. de Tchecoslovaquie.

CD 621.314.263:621.314.637

Zitron, N., Tiucă, N. et *Gagea, Al.* : **La synthèse du septupleur ferromagnétique statique monophasé de fréquence.**

Electrotehnica **21**, No 6, juin 1973, p. 223–229

On présente la synthèse du septupleur ferromagnétique statique monophasé de fréquence, pour deux cas, en analysant en même temps, l'influence de l'histérésis des noyaux. On détermine les valeurs optima de la grandeur d'entrée pour laquelle on obtient une multiplication de 3,5 ou de 7 fois de la fréquence.

CD 621.317.2.027.8.005 (498.21)

Marinescu, A. et *Cîrstea , D.* : **Le nouveau laboratoire de haute tension des usines „Electroputere" de Craiova.**

Electrotehnica **21**, No 6, juin 1973, p. 229–241

Le nouveau laboratoire de haute tension, conçu comme base matérielle strictement nécessaire pour le développement de la fabrication de l'équipement électrotechnique de haute tension, présante de nombreux aspects spécifiques et originaux, dans sa réalisation.

Dans cet ouvrge, on présente la technologie, les solutions constructives et les outillages employés pour ce laboratoire.

CD 621.318.34:681.14

Popa, I. : **En ce qui concerne le calcul des régistres de déplacement tritact à ferrites.**

Electrotehnica **21**, No 6, juin 1973, p. 241–246

Basé sur l'intégration de l'équation différentielle qui décrit les processus électromagnétiques de commutation en impulsion des ferrites à cycle d'histérésis quadrangulaire, on établit des relations entre les paramètres, pour le cas optimum de fonctionnement, dans le régistre de déplacement tritact à ferrites.

CD 621.312 (47)

UMEB – 25 ans de production électrotechnique.

Électrotehnica **21**, nr. 6, juin 1973, p. 247–250

RÉALISATIONS DE L'INDUSTRIE DE NOTRE PAYS 250–253

NOUVEAUX MATÉRIAUX DOCUMENTAIRES 254–256

BRÈVES COMMUNICATIONS 256

CONTENTS

DC 621.3.014.31:621-316.57.064.3:681.14
Sasu Mimi : **Analogue computer-based method of studying an electric arc based on Cassie and Mason equation.**

Electrotehnica **21**, No 6, June 1973, p. 209–220

The author analyses the dynamic behaviour of an interruption electric arc which is assumed to release energy both by radial conduction and convection. Starting from a variant of Cassie and Mason arc equation, one devises a calculation method which permits to resolve this equation, coupling it with the differential equations of an alternating current circuit — with the help of an analogue computer. After a wide set of calculus variants the author sets up certain conditions under which one achieves either arc back or arc blowing-out.

CD 621.313.283.013.34
Cojan, M. : **Step-by step motors with variable reluctance.**

Electrotehnica **21**, No 6, June 1973, p. 220–223

The variable reluctance step-by-step motor is an electric step-by-step motor used in digital control systems which is able to operate at high frequencies (3,000 steps/s) with a very small step angle (1°30′).

The paper describes succinctly the functioning principles and the features of the motors, dealing thoroughly with the mathematical model, the transfer function and the utilization domains, suggesting selection criteria.

In the last part of the paper the author describes the variable reluctance step-by-step motors turned out by MEZ-Náchad (Czechoslovakia).

DC 621.314.263:621.314.637
Zitron, N, Tiucă, N. and *Gagea, Al.* : **Synthesis of statie single-phase ferromagnetic frequency septuplors.**

Electrotehnica **21**, No 6, June 1973, p. 223–229

The authors present the synthesis of the statie single-phase ferromagnetic frequency septuplor — 2 cases — analysing also the core hysteresis. They calculate the optimum values of the input quantity which provide a 3.5 or 7 times frequency multiplication.

DC 621.317.2.027.8.005(498.21)
Marinescu, A. and *Cîrstea, D.* : **The new high tension laboratory of „Electroputere" works of Craiova.**

Electrotehnica, **21**, No 6, June 1973, p. 229–241

The new high tension laboratory stictly designed to promote the development of high tension equipment manufacture shows many original and specific features.

The paper describes the techology, constructive solutions and installations used in achieving this laboratory.

DC 621318.34:681.14
Popa, I. : **About three-time ferrite displacement registers.**

Electrotehnica **21**, No 6, June 1973, p. 241–246

Starting form the integration of the differential equation which describes the electromagnetic processes of pulse switching of ractangular hysteresis cycle ferrites, the author sets up relations between parameters for optimum operation conditions for three-time ferrite displacement registers.

DC 621.312 (47)
UMEB — 25 Years of electrical equipment output.

Electrotehnita **21**, nr. 6, iunie 1973, p. 247–250

DOMESTIC INDUSTRY ACHIEVEMENTS 250–253

NEW DOCUMENTARY MATERIALS 254–257

NEWS IN BRIEF 256

OMSZ KÖZPONTI MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLY

TITLURI DOCUMENTARE

CZ 621.313 **MAŞINI ELECTRICE DE CURENT CONTINUU ŞI ALTERNATIV. GENERATOARE. MOTOARE.**

CZ 621.313

Gutt, J. H. şi *Deschner, F.* **Modurile de lucru ale motoarelor trifazate pentru aparatele de ridicat.** În : Elektrotechn. Z. (ETZ-A) 93, nr. 12, dec 1972, p . 703—708, 5 fig.

CZ 621.313

Berger, Th. **Frînarea în curent continuu a motoarelor asinerone de putere mică cu rotorul în scurtcircuit, la curenţi mari de excitaţie.** În : Elektrie 26, nr. 11, 1972, p. 347—349, 3 fig., 1 tabl. 8 ref. bibl.

CZ 621.313

Leroy, G. Fraidefond, J., Gallet, G., Gruber, Gr., Simon, M. şi *Vdavenko, B.* **Laborator de tensiune foarte înaltă. Noi mijloace de încercare şi aspecte originale de exploatare.** În : RGE 81, nr. 10, oct. 1972, p. 665—576, 32 fig., 16 ref. bibl.

CZ 621.313.2—523.8: 622.625.5

Derksen, J. **Maşini de curent continuu, pentru mine, alimentate cu tiristori.** În : Siemens Z. 46, nr. 12, 1972, p. 919—923, 7 fig. 5 ref. bibl.

CZ 621.315 **TRANSMISIA ENERGIEI ELECTRICE. LINII AERIENE. CABLURI. CONDUCTOARE. MATERIALE IZOLANTE. MATERIALE DE INSTALAŢII.**

CZ 621.315

Schwarfer, K. **Faza distructivă a străpungerii de lungă durată a răşinilor epoxidice în curentul alternativ.** În : Elektrie 26 nr. 11, 1972, p. 322—325, 6 fig. 7ref. bibl.

CZ 621.315

Bouvier, B. **Măsurarea rezistenţei de izolare în atmosferă foarte umedă. Aplicaţii în cazul particular al benzilor adezive.** In : RGE, 81, nr. 10, oct. 1972, p. 642—648, 4 fig., 3 anexe.

CZ 621.315

Lacoste, A şi *Riot B.* **Staţie de încercare a cablurilor la înaltă tensiune.** În : RGE, 81, nr. 10, oct 1972, p. 661—664, 2 fig.

CZ 621.315

Galand, J., Thibault, M, Viale, F., Samat, Y. şi *Vuarchex, P* : **Aplicarea cromatografiei în fază gazoasă la diagnosticarea degradărilor în izolarea materialelor electrice.** În : RGE, 81, nr. 11, nov. 1972, p. 727—740, 16 fig., 12 ref. bibl.

CZ 621.315

Caillat, C., Audoux, C. şi *Auclair, H.* : **Aplicarea analizei de entalpie diferenţială la studiul polietilenei de înaltă presiune pentru cabluri.** În : RGE 81, nr. 11, nov. 1972, p . 740—746, 14 fig., 6 ref. bibl.

CZ 621.315

Viale, F., Samat, J. şi *Metzger, Gr.* : **Aplicarea spectrografiei infraroşii la identificarea şi controlul izolanţilor utilizaţi în industria electrică.** În : RGE, **81**, nr. 11, nov. 1972, p. 746—757, 20 fig., 21 ref. bibl.

CZ 621.315

Chenneviere, B. : **Firele emailate şi mediul ambiant. Compatibilitatea cu materialele care le sînt asociate.** În : RGE, **81**, nr. 11, nov. 1972, p. 737—777, 1 fig., 5 tabl.

CZ 621.315

Bui, Al. Mayaux, C. şi *Lacoste, R.* : **Acţiunea separată a diverselor forme de energie care intervin în degradarea izolanţilor supuşi la descărcări parţiale.** În : RGE, **81**, nr. 11, nov. 1972 p. 768—772, 13 fig., 9 ref. bibl.

CZ 621.315

Nirrengarten. A. : **Localizarea defectelor cu ajutorul curentului continuu asupra cablurilor de curenţi slabi supuşi paraziţilor.** În : Elektrotechn. Z. (ETZ-B) **24**, nr. 22,27 oct. 1972, p. 563—567, 14 fig., 12 ref. bibl.

CZ 621.315

Rietz, W. : **Localizarea defectelor la pămînt în conductoare de cabluri şi în înfăşurarea cablurilor.** În : Elektrotech-Z (ETZ-B) **24**, nr. 22, 27.10.1972, p. 559—562, 3 fig.

CZ 621.316 **DISTRIBUIREA ENERGIEI ELECTRICE. REŢELE. REDESCHIDEREA ŞI INCHIDEREA CIRCUITELOR. REGLAREA MĂRIMILOR ELECTRICE. PROTECŢIA APARATELOR ŞI INSTALAŢIILOR**

CZ 621.316

Hendrich, Gh. : **Procedee complexe de aproximare pentru corecţia dirijată a stării reţelei în caz de funcţionare inadmisibilă.** În : Elektrotech-Z (ETZ-A) **93**, nr. 12 dec. 1972, *p*. 710—711, 1 tabl.

CZ 621—316.722.027.3—523.8

Bardahl, N. : **Regulator tranzistorizat cu controlul în primar pentru alimentarea aparatelor de înaltă tensiune.** În : Siemens Z. **46**, nr. 11, 1972, p. 888—890, 6 fig.

CZ 621.316.86 : 537.32

Chakrabarty, N., Engl, A., **Tensiuni termoelectrice în rezistenţele cu peliculă metalică.** În : Siemens Z. **46**, nr. 11, 1972, p. 890—893, 3 fig., 2 tabl.

CZ 621.316.925—523.8 : 621.313.12.014.7

Knütter, E—E, Nimes, K. : **O nouă schemă de protecţie împotriva punerii la pămînt a statorului la maşinile de înaltă tensiune.** În : Siemens Z. **46**, nr. 12, p. 909—911, 3 fig.

CZ 621.316.925.43—523.8 : 621.313.12.014.7

Knütter, E. F., şi *Ziegler, G.* **Schema electronică de protecţie, împotriva punerii la pămînt a rotorului, bazată pe un nou principiu de măsură.** În : Siemens Z. **46**, nr. 12, 1972, p. 906—909, 6 fig., 1 ref. bibl.

CZ 621.316.925.523.8 : 621.313.12

Fischer, A. : **Protecţia electronică a generatoarelor.** În : Siemens Z. 46, nr. 12, p. 903—906, 3 fig., 9 ref. bibl.

CZ 621.317. **TEHNICA MĂSURILOR ELECTRICE. APARATE DE MĂSURĂ.**

CZ 621.317

Bosch, W., Reslavlev, S. şi *Schmiere, H.* : **Releele electromagnetice, componenţi electrotehnici.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) 24, nr. 23, 10 nov., 1972, p. 583—588, 10 fig., 4 ref. bibl.

CZ 621.317.382

Kuligowski, G. : **Dispozitiv pentru măsurarea simultană a puterii insantanee active şi reactive pînă la 10 kHz.** În : Siemens Z. **46**, nr. 10, p. 812—814, 2 fig.

CZ 621.372. **PROPAGAREA DIRIJATĂ A OSCILAŢIILOR ELECTRICE**

CZ 621.372

Teodorescu, D. : **Analiza şi identificarea circuitelor neliniare cu mijlocul matricelor specifice.** În : RGE **81**, nr. 10, oct. 1972, p. 677—684, 7 fig., 16 ref. bibl.

CZ 621.372

Hanisch, K. : **Relee miniatură — componenţi-electronici.** În : Elektrotechn. Z. (ETZ-B) **24**, nr. 23, 10 nov 1972, p. 590—594, 7 fig., 1 tabl., 18 ref. bibl.

CZ 621.327

Halbritter, P. H. : **Bare conductoare pentru instalaţiile de iluminare.** În : Elektrotech. Z. (ETZ-B) **24**, nr. 22, 27 oct. 1972, p. 568—572, 13 fig., 1 tabl., 1 ref. bibl.

CZ 681—3 **CALCULATOARE DE PROCES**

CZ 681—3

Klose, F. : **Consideraţii generale care intervin în instalaţiile calculatoarelor de proces.** În : Electrotechn. Z. (ETZ-B) **24**, nr. 21, 13 oct 1972, p. 546—548, 1 ref. bibl.

CZ 681.3

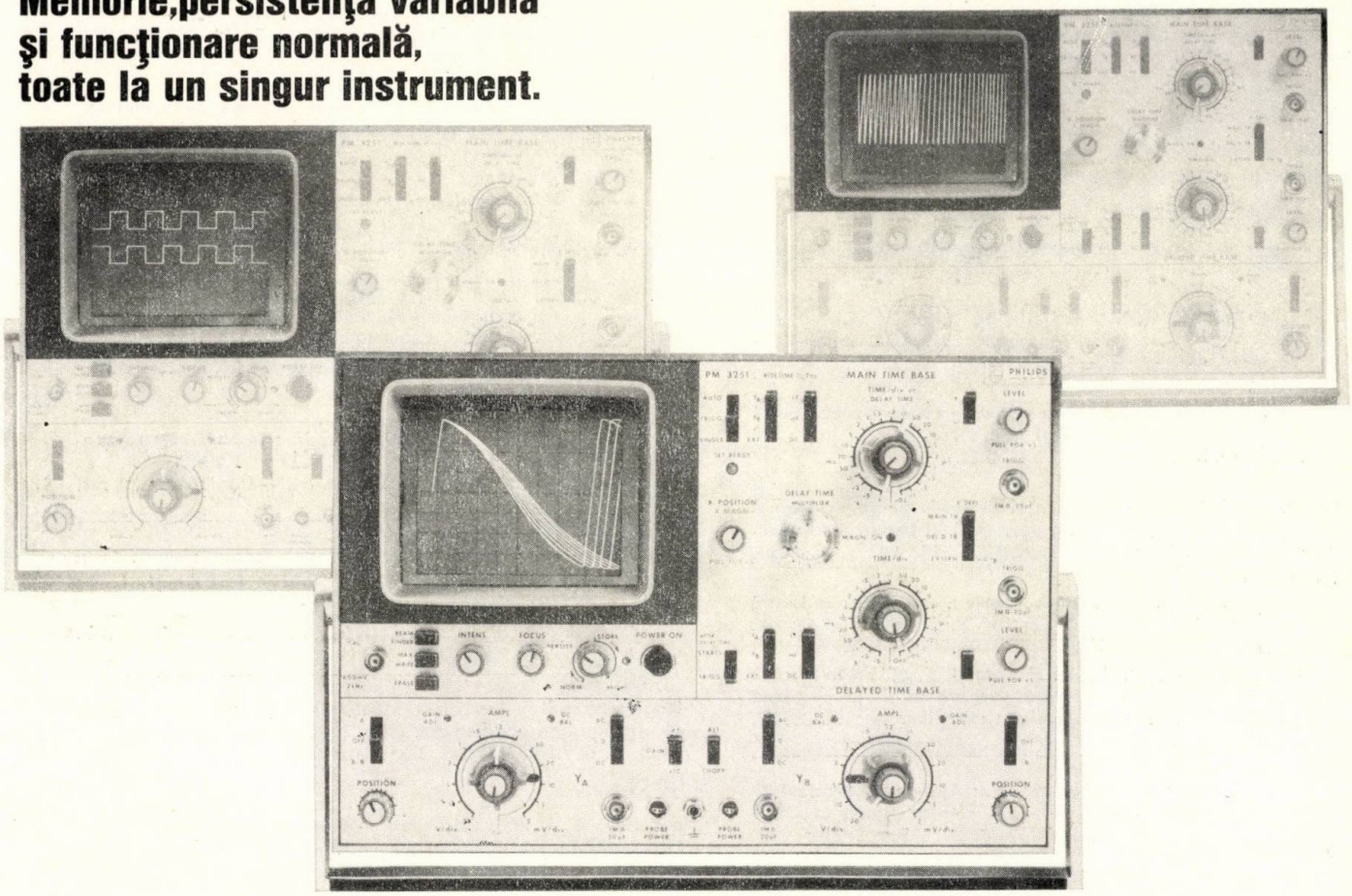
Tulane, M. : **Avantajele ondulatoarelor asociate la contactoare statice pentru obţinerea surselor de tensiune, necesară calculatoarelor.** În : RGE, **81**, nr. 10, oct. 1972, p. 628—633, 8 fig.

CZ 681—3

Bodier, Gr. : **Problemele instalării calculatoarelor. Regimul neutru. Circuite de punere la pămînt. Protecţia posibilă asupra tensiunilor de şoc.** În : RGE, **81**, nr. 10, oct. 1972, p. 638—641, 3 fig.

OSCILOSCOPUL TIPIC "NETIPIC"

Memorie,persistenţă variabilă şi funcţionare normală, toate la un singur instrument.



Philips PM 3251 este un osciloscop cu dublu spot şi trei moduri de lucru, cu sensibilitate şi lărgime de bandă neegalate.
In modul de lucru normal aceşti parametri sînt 50 MHz şi 2 mV sau 5 MHz şi 200 µV cu foarte mare sensibilitate. Este un osciloscop complet, pentru orice destinaţie, fără efect electrostatic.
In modul de lucru cu persistenţă variabilă între 0,3 s şi 10 min. se redau stabile imaginile formelor de undă care pîlpîie. Combinînd persistenţa variabilă cu memoria se pot vizualiza mai multe fenomene în acelaşi timp sau se pot compara semnale cu variaţie lentă, alura anterioară păstrîndu-se pe ecran în timp ce se trasează alura nouă.

In modul de lucru cu memorie se realizează menţinerea unei imagini între 10 minute şi 2 ore, cu o serie de avantaje:
Mai întîi banda nu este limitată de cîţiva MHz ca la aparatele anterioare. Adăugînd sarsini în memorie se vizualizează cu intensitate maximă impulsuri de nanosecunde cu timp de creştere foarte scurt şi cadenţă de repetiţie lentă.
In al doilea rînd un singur tub catodic cu luminanţă excelentă şi viteză de exploatare de 1,2 microsecunde/diviziune are aceeaşi durată de viaţă cu un tub obişnuit. Nu se schimbă des tuburile.
In al treilea rînd acest nou tub este mult mai rezistent decît toate tuburile catodice anterioare la care intensităţile prea mari pot distruge stratul de memorie.

Osciloscopul are pe panou minimum de butoane de reglare.
PM 3251 se aplică nu numai în electronică. Printre altele se poate folosi în fizică, mecanică, biologie, medicină.

Philips Industries, Departamentul aparate de control şi măsură Eindhoven, Olanda.

Service: Institutul Politehnic
Str. Polizu 1
Bucuresti - Tel. 173544

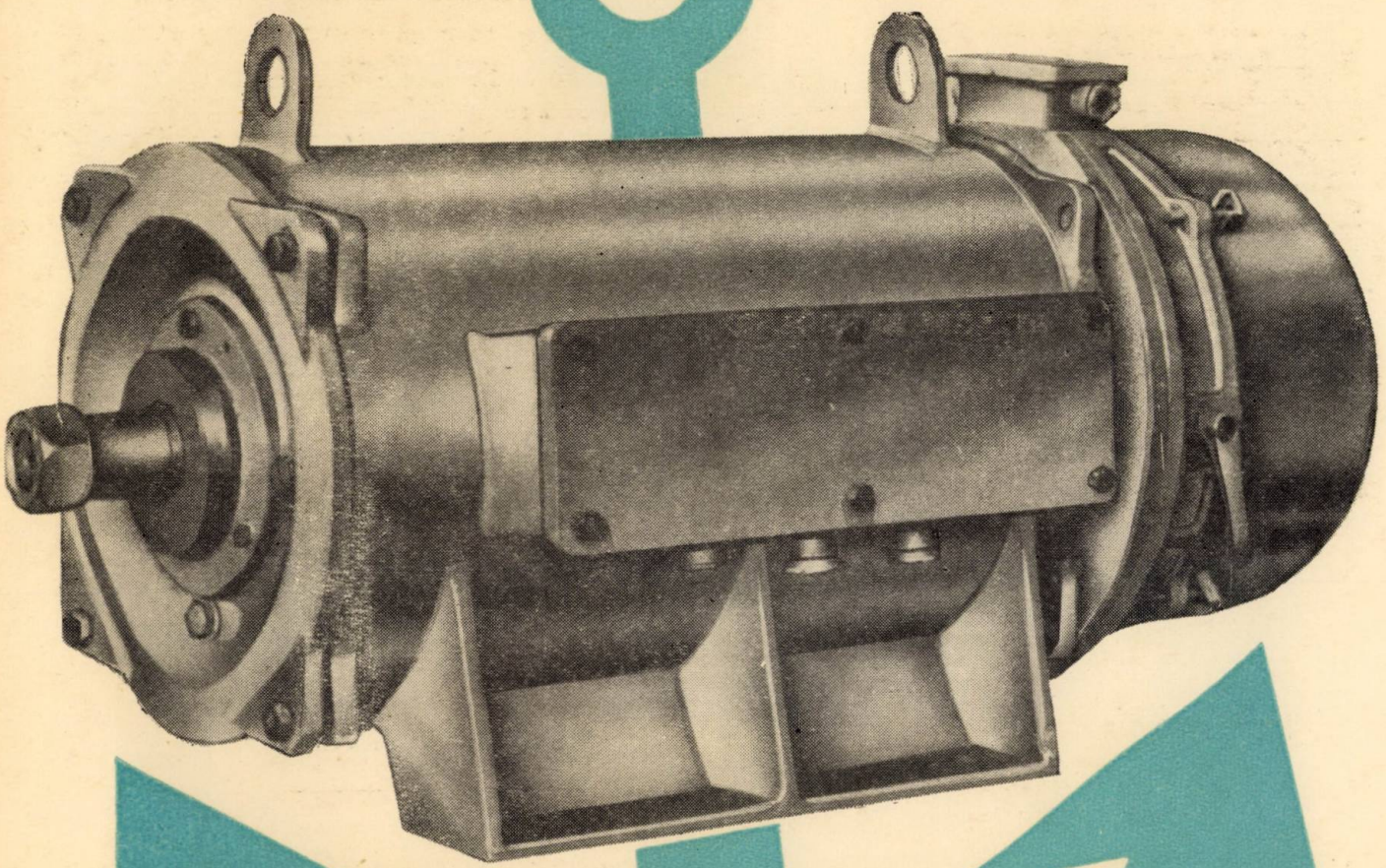
PHILIPS

PHILIPS

UZINA DE MAȘINI ELECTRICE UME B

BUCUREȘTI, STR. HO ȘI MIN, NR. 4. SECTOR 7. TELEFON 31.52.20

PRODUCE ȘI LIVREAZĂ PENTRU BENEFICIARI INTERNI ȘI DIN EXTERIOR PRINTRE ALTE MAȘINI ELECTRICE ȘI PE CELE DE MAI JOS.



MOTOARE AUXILIARE NAVALE ÎN CURENT ALTERNATIV TIP AN

— Motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit destinate acționării instalațiilor de pe nave.

— Construcția navală omologată conform Registrului Naval R.S.R. și registrului U.R.S.S. cu frîne alimentate în c.c. sau c.a., protecția IP 56. Sortiment complet de motoare cu una, două sau trei turații și regimuri speciale pentru antrenarea:

vinciului de ancoră	30/30/10 kW
	22/22/7 kW
vinciului de încărcare	32/16/5 kW
vinciului de la bărcile de salvare	5,5 kW
vinciului balansină	3 kW
vinciului cabestan	12/12/6 kW
dispozitiv rotire macara	9,5/5 kW
dispozitiv basculare macara	13/3,5 kW

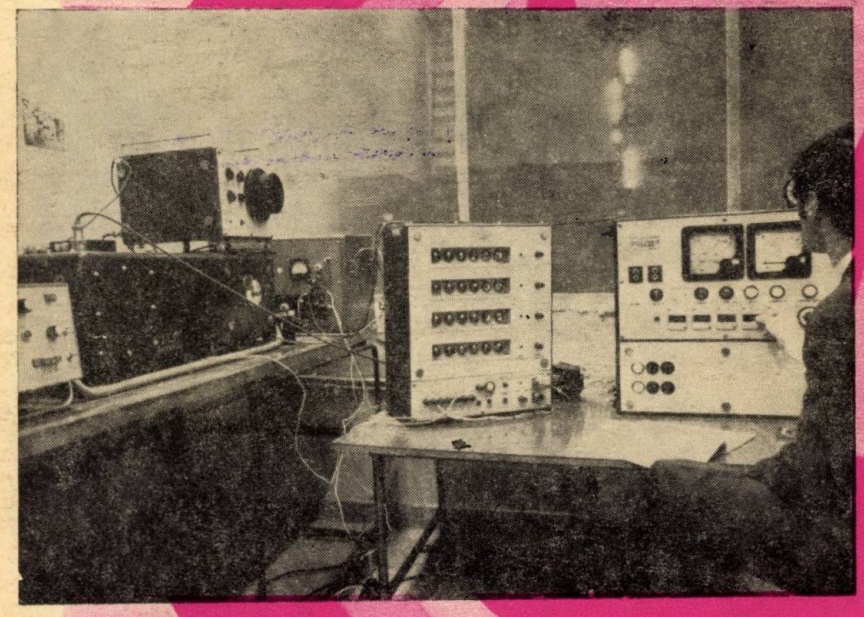
La comandă se livrează împreună cu cotrolerul de comandă respectiv.
La cerere se pot livra

- în execuție corespunzătoare "VERITAS"
- în execuție corespunzătoare "Lloyd"

INSTITUTUL DE CERCETARE SI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICA

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I

1973 AUG 31



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive !

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine !

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dvs., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele !

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite ?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Industria Electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 ani în activitate care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

Telefonați la : 31.41.00

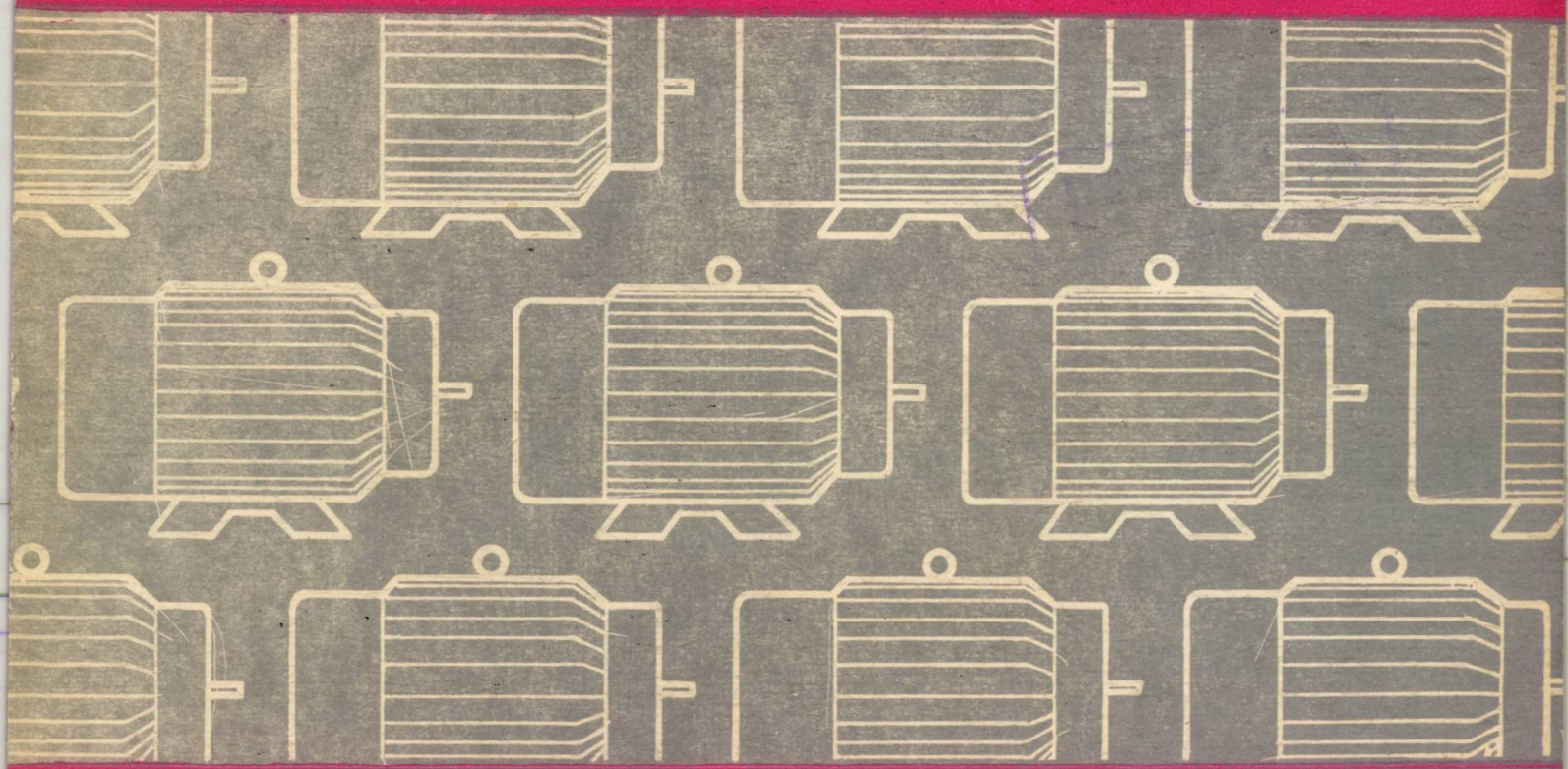
BUCUREȘTI BD. T. VLADIMIRESCU Nr. 45 - 47 — Telefon : 31.41.00

I C P E

E 2040

R

ELECTROTEHNICA



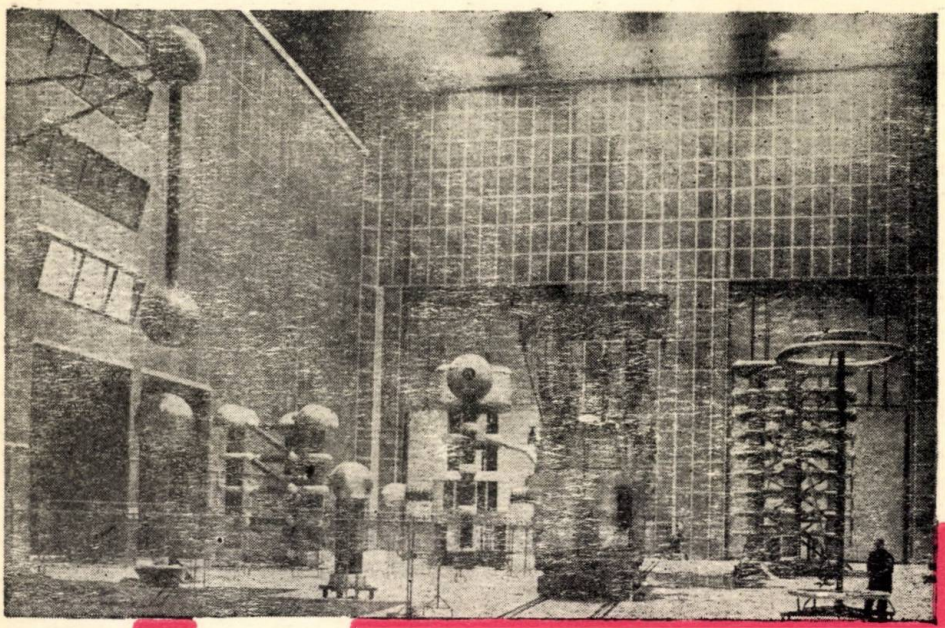
ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 21 • Nr. 7 • IULIE 1973

7

CENTRUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE ELECTROPUTERE CRAIOVA

prin noul său

LABORATOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE



conceput şi echipat modern oferă în domeniul tehnicii tensiunilor înalte următoarele servicii:

— încercări cu tensiune aplicată în gama de frecvenţe 25—150 Hz pînă la 1200 kV;

— încercări cu tensiune aplicată în curent continuu pînă la 1000 kV, 30 mA;

— încercări cu tensiune indusă în transformatoare de putere cu frecvenţă mărită 100—150 Hz, monofazat şi trifazat;

— încercări cu supratensiuni atmosferice 1,2/50 μs pînă la 2400 kV, 192 kWs;

— încercări cu supratensiuni de comutaţie 250/2500 μs, pînă la 1800 kV;

— măsurători de descărcări parţiale şi perturbaţii radio în hală ecranată electromagnetic;

— încercări asupra izolaţiei externe sub ploaie artificială;

— ridicarea caracteristicilor de răspuns ale schemelor de măsurare de înaltă tensiune (divizoare, şunturi);

— încercări pentru caracterizarea materialelor electrotehnice;

— calculul şi modelarea fenomenelor tranzitorii în transformatoare;

— studii şi cercetări pentru dezvoltarea echipamentului electrotehnic de înaltă tensiune.

Craiova, Calea Bucureşti nr. 144; telefon 21871; telex 016228

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 7, pag. 257 — 292 iulie 1973

CUPRINS

BUCUREȘTI * * * ORȘ 7

Academicianul Aurel Avramescu la 70 de ani

Electrotehnica **21**, nr. 7, iulie 1973, p. 257—298

CZ 621.313.222—523.2.004.86

Oprișor, M., Moga, V. și *Ciută, V.* : **Caracteristicile de reglaj pentru o schemă îmbunătățită de comandă a mașinii serie de curent continuu.**

Electrotehnica **21**, nr. 7, iulie 1973, p. 259—263

Se analizează caracteristicile de reglaj, obținute pe cale experimentală, pentru o schemă de comandă prin impulsuri a mașinii serie de curent continuu, funcționînd în regim motor și în regimurile de frînare recuperativă sau dinamică. Schema este concepută pe baza unui convertizor direct de tensiune continuă cu circuite de comutație independente de sarcină. Sînt făcute aprecieri asupra calității reglajului și economicității lui. Sînt stabilite condițiile în care se poate utiliza fiecare tip de frînare studiat.

CZ 621.3.066.6.001.891

Suciu, I. : **Contribuții la studiul experimental al rezistenței de contact în joncțiunile neomogene. Aplicație la contactul lamelei centrale a duliei E—27.**

Electrotehnica **21**, nr. 7, iulie 1973, p. 264—270

Se prezintă un studiu experimental și concluzii practice privind influența ce o manifestă forța de apăsare și temperatura asupra rezistenței de contact, în joncțiunea neomogenă din zona lamelei centrale a duliei, de construcție indigenă, E—27 metalică, ameliorată.

CD 621.357.2 Cu

Radovici, O., Vass, Cecilia și *Solacolu, I.* : **Depuneri lucioase de cupru pe aliaje de zinc din băi de pirofosfați**

Electrotehnica **21**, nr. 7, iulie 1973, p. 271—276

Se arată rezultatele privind posibilitatea obținerii unor depuneri de cupru, dintr-o baie de pirofosfat, pe aliaje de zinc și influența principalilor parametri (pH, temperatură, agitare, adaos de agent de luciu) asupra eficienței catodice și structurii depunerilor. Sînt stabiliți parametrii optimi de funcționare a băii de cuprare.

PENTRU TÎNĂRUL INGINER

CD 621.313.1 : 534.21.001.4

Darabont, Alex. și *Văiteanu, D.* : **Combaterea zgomotului mașinilor electrice rotative**

Electrotehnica **21**, nr. 7, iulie 1973, p. 276—280

REALIZĂRI ALE INDUSTRIEI ROMÂNEȘTI 285

NOI MATERIALE DOCUMENTARE 286

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE 289

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; prof. ing. VL. POPOVICI; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehniciі și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director : 50.23.25 Redacția : București, str. Mândinești nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Intreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 2954. *Taxele poștale pentru anul 1973 plătite în cont-avans conform aprobării D.G.P. nr. 137/10078/1972*

41 400

ABONAȚI-VĂ

la revistele:

CONSTRUCȚIA DE MAȘINI

ELECTROTEHNICA

AUTOMATICA ȘI ELECTRONICA

ELECTROTEHNICA

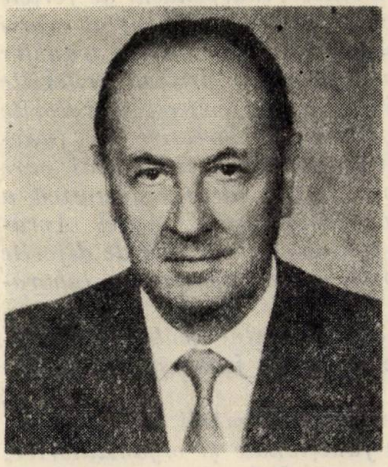
ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI-UNELTE ȘI ELECTROTEHNICII ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ȘI PUBLICAȚII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 Nr. 7 București, iulie 1973

ARES ... DOCUMENTARE ... HOZPONT ... 1983

ACADEMICIANUL AUREL AVRAMESCU LA 70 DE ANI



Aniversările unor personalități de seamă ale științei românești au devenit popasuri de evidențiere și prețuire a activității lor, încadrate în ansamblul dezvoltării tumultuoase și multilaterale a societății noastre.

Aurel Avramescu s-a născut în anul 1903 în comuna Radna, județul Arad. A urmat liceul Moise Nicoară din Arad, pe care l-a terminat ca șef de promoție în anul 1921. Studiile superioare le-a făcut la Școala Politehnică din Dresda (Technische Hochschule Dresden) unde a obținut titlul de inginer diplomat, în anul 1928, diploma de doctor inginer în anul 1937 și ulterior diploma de doctor inginer habil (doctor docent).

După terminarea studiilor superioare tînărul doctor inginer a activat în cadrul Direcției generale PTT, la Societatea Generală de Gaz și Electricitate, la Intreprinderea regională de electricitate București, la Institutul de cercetări electrotehnice, unde a ocupat funcții de inginer șef de serviciu, șef de laborator și șef de secție. În cadrul Academiei Republicii Socialiste România a ocupat funcția de director general al Centrului de documentare științifică și în prezent este director general al Centrului de informare și documentare al Ministerului Educației și Învățămîntului.

În paralel cu activitatea depusă în laboratoare, tovarășul academician Aurel Avramescu a depus între anii 1937 și 1960 și o susținută activitate didactică, în cadrul învățămîntului tehnic superior, în calitate de conferențiar la disciplina de aparate electrice.

Pentru activitatea sa remarcabilă pe tărîmul cercetării științifice și ca personalitate culturală proeminentă a fost numit membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România în anul 1955 și membru titular în anul 1963. Din anul 1966 este Președintele Comisiei de Automatizare a Academiei.

Începînd din anul 1956 este redactor șef al revistei „Electrotehnica", funcție pe care o îndeplinește și în prezent.

Tovarășul academician Aurel Avramescu a desfășurat și desfășoară o intensă activitate științifică și publicistică. Preocupările sale de bază se situează în sfera electrotehnicii. A publicat peste 190 lucrări științifice, printre care și o carte „Introducere în documentarea științifică", în colaborare cu V. Cîndea. (Lista acestor lucrări este dată la pag. 281—285).

Lucrările științifice se axează pe teme legate de cele două disertații ale sale : prima în domeniul încălzirii (adiabatice) la scurtcircuit a conductoarelor și contactelor electrice și cea de a doua în domeniul încălzirii conductoarelor electrice, cu luarea în considerație a cedării de căldură. Pe baza studiului analitic al fenomenelor tranzitorii de difuziune a căldurii și a cîmpului electromagnetic în conductoare masive, s-au obținut formule exacte ale variației rezistenței unui conductor după aplicarea treptei unitare a cîmpului și fazele pătrunderii cîmpului în interiorul conductorului. Luînd ca parametru principal, pentru caracterizarea comportării tranzitorii a unui conductor masiv, timpul mediu de stabilire a cîmpului în centrul conductorului, parametru denumit „constantă de timp arială" și definită printr-o integrală, s-au obținut expresii foarte simple ale acestei constante pentru corpurile simple : sferă, cilindru, placă și în continuare pentru țeavă și profile dreptunghiulare. Acest parametru se aplică la aprecierea globală a încălzirii unor profile în cuptoare, a difuziunii neutronilor în reactoare atomice, a intensității efectului pelicular (de ex. la conductoarele tubulare ale liniilor de foarte înaltă tensiune).

Cercetări ulterioare au relevat și motivat caracterul intrinsec, independent de forțele exterioare, al constantei de timp ariale și identitatea ei cu al doilea coeficient al erorii sistemelor automate, respectiv cu derivata logaritmică negativă a funcției de transfer în originea planului complex. De aici s-au dedus relații generale privind criteriile practice de optimizare a sistemelor automate, legături între aceste criterii și valorile funcției de transfer în diferite zone ale planului complex. Derivatele succesive ale funcției de transfer în origine s-au dezvăluit a fi invarianți importanți ai sistemului care caracterizează comportarea la transfer și la optimizare. Astfel, ideea sistematică a apărut de mai mult timp în lucrările de cercetare ale academicianului Aurel Avramescu. Alte lucrări științifice privesc calculul încălzirii contactelor electrice de diferite forme, uzura și durata lor de viață, calcule verificate prin experimentări în laboratoarele Institutului de energetică și ICPE.

O serie de lucrări tehnico-științifice se referă la echipamentul centralelor electroenergetice și la construcția și funcționarea aparatelor electrice de joasă și înaltă tensiune, a redresoarelor ionice și cu semiconductori.

În domeniul tehnicii telecomunicațiilor cît și al teoriei informării și practicii, o serie de lucrări tehnico-științifice au evidențiat aspecte funcționale și organizatorice, respectiv au prezentat metode noi de proiectare obiectivă a vocabularelor compacte de termeni cheie (descriptori).

În domeniul nou al prospectivei tehnologice cîteva lucrări recente aduc rezultate inedite, datorită metodelor fizice și de modelare matematică aplicate.

Numeroase din lucrările științifice ale academicianului Aurel Avramescu, publicate în țară sau în străinătate, atît în limba română, cît și în alte limbi, sînt citate în cărți clasice de aparate electrice și în articole din reviste publicate în străinătate.

Întreaga activitate științifică și publicistică a tovarășului academician Aurel Avramescu a fost și este dedicată dezvoltării cercetării științifice, creșterii tinerei generații de cercetători, afirmării științei românești peste hotare și propagării ei în masele largi ale tehnicienilor și inginerilor.

Redacția revistei, împreună cu colaboratorii și cititorii ei, îi urează tovarășului academician Aurel Avramescu „La mulți ani", manifestîndu-și, pe această cale, sentimentele de prețuire și dorindu-i continuarea acestei activități neobosite de pionier al științei în țara noastră.

Prof. dr. ing. GH. HORTOPAN
Prof. dr. doc. ing. V. CORLĂȚEANU

Caracteristicile de reglaj pentru o schemă îmbunătățită de comandă a mașinii serie de curent continuu

MIRCEA OPRIȘOR, MIRCEA DIACONESCU, VIRGIL MOGA și ADRIAN CIUTĂ*

CZ 621.313.222 – 523.2.904.8

Reglarea prin impulsuri a mașinilor de curent continuu, caracterizată prin indici superiori altor metode, a căpătat cea mai largă răspîndire în tracțiunea electrică la unitățile motoare de puteri mici și mijlocii, echipate cu motoare serie și alimentate în c.c. de la o baterie de acumulatoare sau de la linia de contact [1]. Unitățile motoare de mare putere, alimentate de regulă prin catenară în c.a., sînt reglate, de preferință, pe transformatorul sau autotransformatorul coborîtor de tensiune; numai frînarea dinamică, la unele dintre acestea, este reglată prin impulsuri [1], [2].

Elementul principal al sistemului este convertizorul direct de tensiune continuă, fiind preferate acele soluții care oferă posibilități mai largi de optimizare a reglării prin modificarea, atît a frecvenței de comutație f, cît și a duratei de conducție (aprindere) t_a a tiristorului (grupului de tiristoare) principal. Ele pot fi diferențiate după modul de conectare a circuitelor auxiliare ce asigură comutația forțată. În [3] sînt date concluziile unei serii de încercări experimentale comparative, efectuate pe un convertizor cu circuite auxiliare dependente de încărcarea mașinii și pe un convertizor avînd, atît circuitul de încărcare al condensatorului de comutație, cît și circuitul de stingere, independente față de curentul de sarcină. Cu această ocazie au fost evidențiate avantajele celui de al doilea sistem, printre care :

— ordinea aprinderii tiristoarelor, principal și de comutație, (T_1, respectiv T_2 din figura 1) este indiferentă;

— comutația este mult mai stabilă datorită tensiunii duble față de cea a sursei de alimentare;

— tensiunea de ieșire (tensiunea aplicată pe mașina serie) poate fi reglată liniar începînd de la zero;

— este asigurată funcționarea stabilă a convertizorului în gol (mașina decuplată);

— permite reglarea frînării autoexcitate pînă la o tensiune rotorică și viteză, nule;

— admite o subdimensionare după curent a elementelor circuitelor auxiliare, dar necesită supradimensionarea lor la dublul tensiunii sursei.

În baza acestor considerente a fost concepută, realizată și experimentată în laboratorul de acționări electrice al I.P. Iași schema din figura 1. Aceasta cuprinde un convertizor

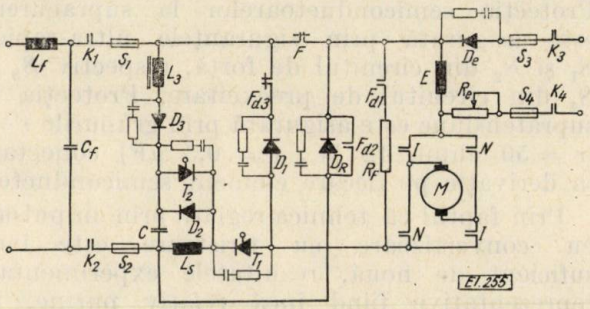


Fig. 1. Schema de principiu a instalației de reglare prin impulsuri a mașinii serie de c.c. cu convertizor cu stingere pe catod.

cu stingere pe catodul tiristorului principal T_1, care asigură reglarea vitezei, atît în regim motor, cît și în regimurile de frînare recuperativă și dinamică, cu sau fără preexcitare. Asemenea convertizor utilizat la reglarea unui circuit ce cuprinde o tensiune electromotoare, constituie o noutate, literatura menționîndu-l numai la reglarea circuitelor cu rezistență și inductanță [4]. Ecuațiile de dimensionare a circuitului de încărcare a capacității de comutație $K_1 - L_3 - D_3 - C - K_2$, ca și cele ale circuitului de stingere $C - T_2 - L_S - C$, respectiv $C - L_S - D_2 - C$ date cu această ocazie, rămîn valabile. Principalii parametri ai elementelor convertizorului realizat sînt: $L_3 = 0{,}1$ H; $L_S = 0{,}0026$ H; $C = 40$ μF; tiristoarele de tip T–150/800, iar diodele de tip VK–200/800. Mașina electrică folosită, de tip serie necompensată, are principalii parametrii: $U_{MN} = 220$ V; $I_{MN} = I_{45} = 12{,}4$ A; $n_N = 1\,330$ rot/min; $P_N = 3{,}08$ CP; $R_{rot} = 1{,}6$ ohmi; $R_{stat} = 0{,}75$ ohmi; $I_h = 11{,}4$ A; $P_h = 2{,}5$ kW (fără ventilație).

Schema este astfel concepută ca printr-un minim de manevră să se realizeze comutarea din regim motor în regim de frînare; deschiderea contactului F determină trecerea în regim de frînare cu recuperare, iar închiderea contactului F_{d1} trecerea la frînare dinamică. Înlocuirea contactului F_{d1} cu un tiristor suplimentar al cărui catod se conectează la punctul comun dintre inductanța de stingere L_S și tiristorul principal T_1, astfel ca aceleași circuite auxiliare să comute și acest tiristor, permite realizarea

* Ing. *M. Oprișor* este șef de lucrări la Institutul Politehnic – Iași, ing. *M. Diaconescu* este asistent la același institut, ing. *V. Moga* lucrează la Combinatul Siderurgic – Galați și ing. *Adrian Ciută* lucrează la Fabrica de produse ceramice – Odobești.

simplă a frînării mixte recuperativă și dinamică [5]. De asemenea, s-a ținut seama ca un număr redus de contacte suplimentare și comutări relativ simple în schema de forță să permită ca același convertizor să regleze și nivelul de subexcitare al mașinii. Reversarea a fost adoptată pe rotor, prin perechile de contacte I sau N, pentru a simplifica problema autoexcitării mașinii serie la trecerea în regim de frînare. Schema comportă un filtru de intrare $L_f - C_f$ pentru netezirea armonicilor introduse de convertizor în sursa cu caracter inductiv. Fără acest filtru funcționarea nu a fost posibilă. Protecția semiconductoarelor la supracurent este asigurată prin siguranțele ultra-rapide S_1 și S_2 din circuitul de forță, respectiv S_3 și S_4 din circuitul de preexcitare. Protecția la supratensiune este asigurată prin grupurile $r-c$ ($r = 50$ ohmi, 12 W; $c = 0{,}5$ μF) conectate în derivație pe fiecare element semiconductor.

Prin faptul că tehnica reglării prin impulsuri cu convertizoare cu tiristoare este încă suficient de nouă, rezultatele experimentale reprezentative fiind încă relativ puține, în prezenta lucrare s-a urmărit analiza detaliată a caracteristicilor de reglaj ale schemei cu convertizor cu stingere pe catod; aceasta completează analiza caracteristicilor de funcționare din [3], [6]. Au fost cuprinse: regimul motor, frînarea recuperativă cu excitație mixtă compoundată și frînarea dinamică autoexcitată. Frînarea prin cuplare inversă, rar folosită în tracțiunea electrică și cu atît mai puțin în cazul reglării prin impulsuri unde frînările recuperativă și dinamică sînt eficiente pînă la oprire [1], nu a fost analizată. De asemenea, frînarea mixtă recuperativă și dinamică, dependentă de condițiile reale de exploatare (masa și viteza unității motoare, declivitate, graficul de mers, frecvența de succesiune a unităților motoare în ambele sensuri etc.) nu a fost nici ea cuprinsă în analiză. Toate caracteristicile date în prezenta lucrare au fost obținute experimental pe standul descris mai sus.

Regimul motor

Funcționarea în regim motor se obține după conectarea sursei prin contactele K_1 și K_2 și închiderea uneia dintre perechile de contacte I sau N, contactele F și F_{a3} fiind și ele închise. Circuitul astfel stabilit esre $K_1 - S_1 - F - E - M - T_1 - L_S - S_2 - K_2$ cînd T_1 conduce și $E - M - D_1 - F_{d3} - F - E$ cînd T_1 este blocat.

În figura 2 sînt prezentate, în mărimi raportate la valoarea nominală, caracteristicile de reglaj experimentale ale tensiunii la bornele motorului $U_M^* = U_M / U_{MN}$ și curentului prin acesta $I_M^* = I_M / I_{MN}$ în funcție de durata relativă de conectare a tiristorului principal:

$$a = f \cdot t_a. \tag{1}$$

Se observă că pentru o sarcină constantă I_M = ct. tensiunea la bornele motorului variază liniar, după o lege de forma:

$$U_M^* = a\left(1 - \frac{\Delta U_1}{U_1}\right), \tag{2}$$

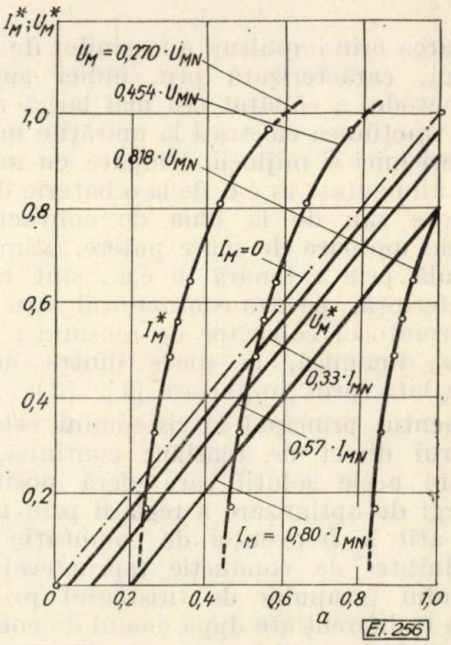


Fig. 2. Caracteristicile de reglaj experimentale la funcționarea în regim motor.

în care: ΔU_1 este căderea de tensiune pe inductanța de stingere L_S și conexiuni și crește odată cu curentul absorbit de la sursa de alimentare $I_1 = a \cdot I_M$, iar $U_1 = U_{MN}$ este tensiunea sursei de alimentare, egală cu tensiunea nominală a mașinii.

Curentul I_M^*, într-o largă gamă de valori este practic independent față de durata de conectare a, după care condiția U_M = ct. impune o creștere a duratei a pentru compensarea căderii de tensiune suplimentare.

Viteza de rotație, dependentă aproape liniar de U_M, are o variație similară, reprezentată și analitic prin ecuația:

$$n_M^* = \frac{n}{n_N} = \frac{U_M^* - \dfrac{R_M I_M}{U_{MN}}}{k_e \Phi \cdot n_N} \cdot U_{MN}. \tag{3}$$

Așa cum se observă din figură, odată cu creșterea sarcinii scade domeniul de reglare a U_M, respectiv a vitezei n. Pentru acoperirea porțiunii superioare a acestui domeniu se impune o sursă de alimentare cu tensiune mărită $U_1 > U_{MN}$.

Frînarea cu recuperare

Realizarea frînării cu recuperare în schema dată necesită deschiderea contactului F și

inversarea corespunzătoare a stării co ntac telor I și N. Circuitul astfel stabilit este $K_2-S_2-D_R-E-M-D_1-F_{d3}-S_1-K_1$ cînd T_1 este blocat, respectiv $T_1-L_S-D_R-E-M-T_1$ cînd acesta din urmă conduce. Pentru diminuarea perioadei de amorsare a autoexcitării este conectat circuitul de preexcitare $K_3-S_3-D_e-E-R_e-S_1-K_4$. În cazul unei frecvențe de comutație relativ joase (50 Hz) curenții rotoric I_M și de recuperare I_R sînt discontinui (a se vedea oscilogramele prezentate în [6], (fig. 2) iar mașina funcționează cu excitație mixtă compoundată. Nivelul curentului de preexcitare se stabilește în funcție de cerințe. Pentru amorsarea autoexcitării, curentul de durată limitată poate atinge I_{MN}, în timp ce pentru obținerea caracteristicilor mixte, curentul total de excitație la $n = n_N$ trebuie să fie $I_{MN} = I_{Ae} + I_{Pe}$. Acest caz particular este analizat în prezenta lucrare.

După cum se știe [1], frînarea cu recuperare la mașina serie autoexcitată reglată prin impulsuri este posibilă pînă la oprire. Din acest motiv, în prima parte au fost analizate caracteristicile de reglaj la frînarea de oprire, iar în cea de a doua, la frînarea de menținere.

Variația tensiunii U_M, în condiția menținerii constante a curentului de recuperare I_R = ct., respectiv a puterii recuperate (fig. 3), se abate de la caracteristica liniară din

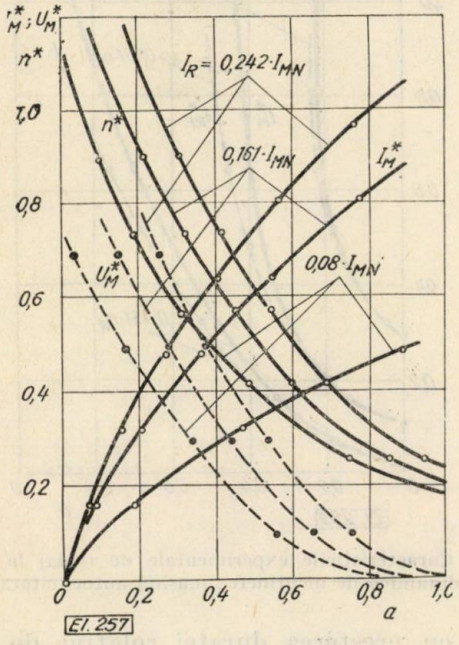


Fig. 3. Caracteristicile experimentale de reglaj la frînarea cu recuperare de oprire; mașină cu excitație mixtă compoundată.

figura 2, sau de la o caracteristică liniară similară, care s-ar obține în condiția I_M = ct. (caracteristicile în regim motor și frînare sînt comparate în condiția că durata relativă a în regim motor este $(1 - a)$ în regim de frînare). Abaterea este datorată și aici căderii de tensiune suplimentare pe inductanța de stingere L_S și pe conexiuni:

$$\Delta U_1 = (R_{LS} + R_{cx})\, I_R, \tag{4}$$

(în regim stabilizat).

Caracteristicile vitezei de rotație au o alură similară, confirmată și de relația:

$$n^* = \frac{(1-a) + \dfrac{R_M - (1-a)\,(R_{LS}+R_{cx})}{U_{MN}} \cdot I_{MN}}{k_e \Phi \cdot n_N} \cdot U_{MN}, \tag{5}$$

cu observația că pentru $a = 1$ va rezulta $n \neq 0$.

Curentul I_M, pentru I_R = ct., crește cu durata relativă de scurtcircuitare a, cu atît mai puțin cu cît aceasta din urmă este mai mare. Explicația rezidă din modul de variație a lui n în funcție de a de la numitorul și numărătorul ecuației (6), respectiv cu saturarea mașinii:

$$I_M = \frac{k_e\, \alpha n - (1-a)\, U_1 + (R_{LS}+R_{cx})\, I_R}{R_M - k_e\, \beta n}, \tag{6}$$

în care s-a considerat pentru liniarizare:

$$\Phi = \alpha + \beta\, I_M. \tag{7}$$

Evident, frînarea este cu atît mai economică cu cît I_R este mai mare, în care caz și I_M trebuie să fie mai mare.

În cazul frînării de menținere (n = ct.) caracteristicile de reglaj diferă esențial, așa cum se observă din figura 4. Tensiunea U_M, proporțională cu viteza de rotație:

$$U_M = (k_e\alpha + k_e\beta\, I_M)\, n + [(1-a)\,(R_{LS}+R_{cx}) - R_M]\, I_M, \tag{8}$$

este practic constantă în raport cu durata de scurtcircuitare a. În schimb, curenții I_M și I_R cresc odată cu a, după o funcție parabolică. Cu cît viteza de rotație este mai ridicată I_M și forța de frînare va trebui să fie mai mare; în consecință I_R și economicitatea reglării vor crește.

În ambele cazuri de frînare recuperativă, urmărind punctele de intersecție la a = ct. ale caracteristicilor I_M^* (respectiv I_R^*) și U_M^* (respectiv n^*), creșterea economicității regi-

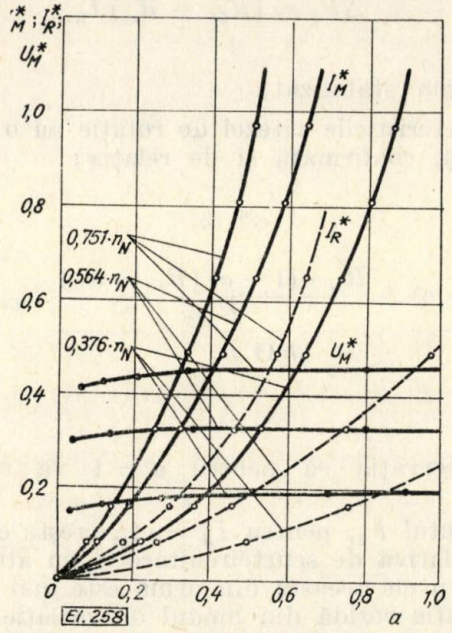


Fig. 4. Caracteristicile experimentale de reglaj la frînarea cu recuperare de menținere; mașină cu excitație mixtă compoundată.

mului rezultă odată cu creșterea tensiunii U_M, respectiv cu diminuarea duratei de scurtcircuitare a.

Frînarea dinamică

Pentru trecerea la frînarea dinamică, în schema de forță din figura 1 se deschide contactul F la fel ca la frînarea recuperativă. Suplimentar este conectată rezistența de frînare R_F prin intermediul contactului F_{a1}; decuplarea sursei de alimentare prin intermediul lui F_{a3} este suficientă pentru evitarea unei frînări mixte recuperativă și dinamică. Scurtcircuitarea diodei de blocare D_R prin intermediul contactului F_{a2} urmărește ușurarea amorsării autoexcitării mașinii [7].

Dată fiind constanta de timp a circuitului rotoric, mărită prin rezistența de frînare R_F, curentul rotoric I_M prezintă un caracter continuu chiar și la frecvențe de comutație relativ reduse (a se vedea oscilogramele din [6] (figura 7). În această situație, alimentarea separată a circuitului de excitație în faza inițială a regimului, ca și scurtcircuitarea diodei D_R, au sens numai pentru creșterea vitezei de răspuns a sistemului.

Caracteristicile de reglaj ale curentului rotoric I_M^*, în cazul frînării de menținere (fig. 5), au o alură similară celor corespunzătoare frînării recuperative de menținere (fig. 4). O diferență esențială apare pentru $a = 0$ unde la frînarea dinamică $I_M \neq 0$ deoarece circuitul rotoric este permanent închis pe rezistența de frînare de valoare suficient de redusă:

$$R = (1 - a)\, R_F. \tag{9}$$

Același motiv determină și variația, practic, independentă de durata de scurtcircuitare a curentului I_M pentru valori suficient de ridicate ale vitezei și forței de frînare:

$$I_M = \frac{k_e\, \alpha n}{R_M + (1 - a)\, R_F - k_e\, \beta n}, \tag{10}$$

unde valorile ridicate ale lui n corespund la valori relativ reduse ale lui a.

Caracteristicile de reglaj ale curentului ce parcurge rezistența de frînare I_{RF}^*; au o alură similară celor ale lui I_M^*; curentul I_{RF}

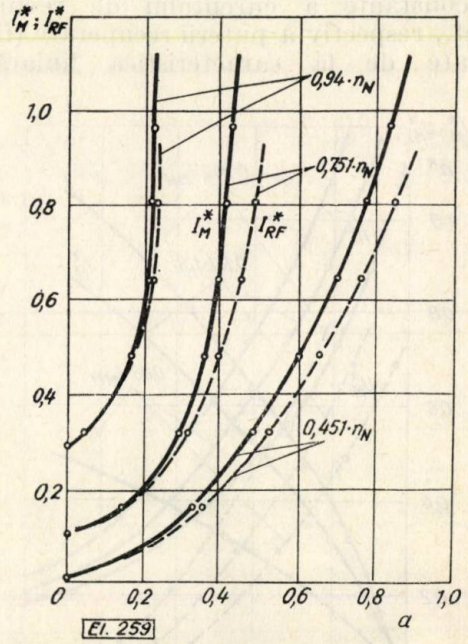


Fig. 5. Caracteristicile experimentale de reglaj la frînarea dinamică de menținere; mașină autoexcitată.

scade cu creșterea duratei relative de scurtcircuitare și, respectiv, cu scăderea vitezei prescrise.

Concluzii

Schema propusă și experimentată funcționează stabil în toate regimurile de funcționare analizate. Ea asigură simplitatea trecerii de

la regimul motor la unul dintre regimurile de frînare și poate asigura, prin comutări simple, reglarea nivelului de subexcitare a mașinii. Economicitatea schemei crește prin folosirea frînărilor recuperative de menținere sau de oprire.

Convertizorul direct de tensiune continuă adoptat are o funcționare stabilă și economică atît în regim motor, cît și în regimurile de frînare analizate. Indicii de reglaj (gamă, finețe, economicitate etc.) sînt foarte buni. Caracteristicile de reglaj sînt adecvate scopului propus.

Notații folosite în text

f — frecvența de comutație a tiristorului principal T_1 (în Hz);

t_a — durata de conducție a tiristorului principal T_1 (în secunde);

a — durata relativă de alimentare (conectare) a mașinii în regim motor, respectiv durata relativă de scurtcircuitare a ei în regim de frînare $a = f \cdot t_a$;

U_1 — tensiunea de intrare (tensiunea sursei de alimentare) în V;

U_M — valoarea medie în timp a tensiunii de ieșire din convertizor în regim motor, respectiv valoarea medie a tensiunii de alimentare a mașinii în regim de frînare recuperativă, în V;

ΔU_1 — căderea de tensiune pe porțiunea circuitului de forță exterioară a mașinii electrice, în V;

I_1 — valoarea medie în timp a curentului de intrare în regim motor ($I_1 = a \cdot I_M$), în A;

I_M — valoarea curentului de sarcină din mașină, în A;

I_{D1} — valoarea medie în timp a curentului prin dioda de descărcare D_1 ($I_{D1} = (1 - a)\, I_M$), în A;

I_R — valoarea medie în timp a curentului de recuperare în sursa de alimentare ($I_R = (1 - a) I_M$), în A;

I_{RF} — valoarea medie în timp a curentului ce trece prin rezistența de frînare dinamică ($I_{RF} = (1 - a)\, I_M$), în A;

n — viteza de rotație a arborelui mașinii, în rot/min;

k_e — constantă constructivă a mașinii;

$\varnothing$ — valoarea fluxului inductor corespunzător curentului I_M;

α și β — constante de liniarizare a caracteristicii de magnetizare $\varnothing = f(I_M)$ a mașinii;

R_M — valoarea rezistenței ohmice totale a mașinii ($R_M = R_{stat} + R_{rot}$), în ohmi;

R_F — valoarea totală a rezistenței de frînare dinamică, în ohmi;

R_{LS} — valoarea rezistenței ohmice a inductanței L_S, în ohmi;

R_{cx} — valoarea rezistenței ohmice a conexiunilor, în ohmi.

Indici

N — valori nominale ale parametrilor mașinii reglate;
Ae — autoexcitare;
Pe — preexcitare;
$*$ — mărimi raportate la valorile nominale corespunzătoare:

$$U_M^* = \frac{U_M}{U_{MN}}; \quad I_M^* = \frac{I_M}{I_{MN}}; \quad I_R^* = \frac{I_R}{I_{MN}};$$

$$I_{RF}^* = \frac{I_{RF}}{I_{MN}}; \quad n^* = \frac{n}{n_N}.$$

Bibliografie

[1] *Cantemir, L., Oprișor M.* Tracțiune electrică. București, Editura didactică și pedagogică, 1971.

[2] *Yoshimitsu Onoda, Shoji Izawa, Naoe Kawakami*: Thyristor application to electric rolling stock. În: I.E.E.E. Transactions on IGA, vol. **IGA**—5, nr. 2, 1969, p. 141—148.

[3] *Oprișor, M., Diaconescu M., Moga V.* Über Impulsregelung der Gleichstrom-Reihenschlussmotors. În: Bul. I.P. Iași, Secția III: Electrotehnică-Electronică, tom **18** (22), 1972, 3/4, p. 157—164.

[4] *Wagner, R.* Elektronischer Gleichstromsteller als Feldsteller für elektrische Maschinen. În: Siemens Z., **39**, nr. 6, 1965, p. 729—733.

[5] *Eisele, H.*: Gemischte Nutz- und Widerstandsbremsung bei Untergrundbahnen. În: ETZ—A, **90** nr. 26, 1969, p. 700—703.

[6] *Oprișor, M., Moga V., Ciută A.* Beiträge zum Studium der Impulsenregelung der Bremsung von Gleichstrom-Reihenschlussmaschinen. În: Bul. I.P. Iași, Secția III: Electrotehnică-Electronică, 19 (23), 1973, 1/2 (în curs de apariție).

[7] *Nekrasov, V. I., Gavrilov, G. N., Maznev A. S.* Ob impulsnom regulirovanii protessa elektricheskogo tormojeniia nizkovoltnogo tiagovogo elektroprivoda s avtonomnim pitaniem. În: Elektrotehnika, **41**, 1970, nr. 2, p. 33—35.

Intrat în redacție la 2.VIII.1972

Contribuții la studiul experimental al rezistenței de contact în joncțiunile neomogene. Aplicație la contactul lamelei centrale a duliei E—27

IACOB SUCIU* — Timișoara

CZ 621.3.066.6.001.891

1. Generalități privind fiabilitatea duliilor

Prin fiabilitatea duliei se înțelege capacitatea acesteia (ansamblului însuși și a elementelor lui componente) de a funcționa fără defecțiuni, pe durata unui anumit interval de timp, în condițiile de exploatare date. În cazul de față dulia poate fi considerată un sistem alcătuit din elemente care funcționează în comun, în scopul realizării unei anumite funcțiuni practice. Dulia, ca sistem, este alcătuită din două tipuri de elemente: electrice și mecanice. Principalele elemente electrice sînt *contactele lamelare* și *bornele*, care constituie, din cauza numeroaselor defecțiuni, una din cauzele apariției problemei siguranței în exploatare a acestor sisteme electrice. Elementele mecanice sînt numai piesele de fixare, la dulie lipsind elemente cinematice.

O dulie, cu siguranță sporită în funcționare, se poate realiza prin respectarea unor condiții general valabile pentru orice produs: preț de cost redus, greutate proprie mică, gabarit mic, execuție cît mai simplă și rațională etc. Chiar dacă uneori produsul are un cost mai ridicat, economicitatea acestuia derivă din timpul mai îndelungat de exploatare, cu înalte caracteristici funcționale.

Creșterea fiabilității duliei este strîns legată de utilizarea unor materiale și piese de calitate superioară, de o mare exigență la montarea *contactelor* și *bornelor*, precum și de asigurarea condițiilor necesare pentru o întreținere și exploatare rațională.

La dulie, contactele, baza de porțelan și, mai rar, inelul izolant sînt sursa celor mai frecvente defecțiuni, acestea influențînd în cel mai înalt grad asupra fiabilității produsului. Dulia se impune a fi alcătuită din elemente cît mai simple și mai puține: un număr mare de piese duce la micșorarea siguranței în exploatare.

În prezent, în domeniul acestor produse electrotehnice de mare serie se lucrează mai mult empiric, fără a se cunoaște valorile numerice pentru diverși parametri, care ar trebui să fie utilizați de către proiectant și constructor, pentru realizarea unui produs cît mai reușit.

Scopul principal al prezentei lucrări îl constituie studiul experimental efectuat asupra rezistenței de contact, care ia naștere în joncțiunea neomogenă, realizată în zona lamelei centrale a duliei E—27, în vederea îmbunătățirii caracteristicilor funcționale.

2. Rezistența de contact R_c

Contactele în dulia considerată, se realizează în două locuri: pe lamela centrală și pe lamela laterală. Contactul central depinde în mare măsură de gradul de înșurubare a soclului becului, iar contactul lateral depinde, de asemenea, de poziția soclului becului și de arcuirea lamelei laterale. Ambele contacte, în stare închisă (atingere) stabilă, trebuie să fie apăsate cu o forță F, care să depășească o anumită valoare minimă. În timpul funcționării aceste contacte sînt supuse la o puternică încălzire (mai ales lamela centrală), la uzură mecanică datorită frecărilor în timpul operațiilor de înșurubare și deșurubare a becului și mai rar la uzură electrică, datorită arcului electric, comutația circuitului făcîndu-se în mod normal cu ajutorul unui întreruptor.

Contactele duliei fac parte din categoria contactelor *staționare intermitente* (amovibile), avînd un caracter nepermanent, funcție de existența becului în dulie. Bornele de contact, prin care se leagă dulia în circuitul de alimentare, făcînd parte din categoria contactelor fixe (permanente), cu funcționare mai sigură, nu intră în prezentul studiu.

După aspectul geometric al suprafețelor de atingere contactele duliei sînt punctiforme; astfel contactul central se realizează între două semisfere, iar contactul lateral — între o suprafață toroidală și una plană (sau cilindrică).

Luînd în considerare modul deplasării reciproce a pieselor care fac joncțiunea, contactul central este de tipul *frontal* (cu fricțiune circulară), iar contactul lateral — de *frecare* (cu glisare elicoidală pe soclul becului). La ambele contacte, fiind prezent fenomenul de frecare, există avantajul realizării unei autocurățiri de oxizi a suprafețelor metalice care vin în atingere.

În cele ce urmează se va studia mai amplu numai *contactul central* al duliei E—27, fiind cel mai solicitat termic și mecanic. Acest contact este alcătuit din două materiale cu caracteristici foarte diferite: lamela centrală este de alamă sau bronz, iar contactul central al soclului becului — dintr-un aliaj de cositor și plumb, depus pe o plăcuță de alamă, prin care

* Dr. ing. *I. Suciu* este profesor la Catedra de Electroenergetică a Institutului politehnic „Traian Vuia" din Timișoara

trece conductorul de legătură la filamentul becului. Deoarece contactul central și cel lateral determină o discontinuitate în căile de curent ale duliei, în zonele de atingere a contactelor va lua naștere o rezistență electrică suplimentară R_c, denumită *rezistență de contact*.

Această rezistență de contact se compune din două părți, în primă aproximație, independente una față de alta: rezistența de stricțiune R_s și rezistența peliculară R_p. Astfel, avem: $R_c = R_s + R_p$.

Este cunoscut că rezistența de stricțiune există întotdeauna chiar în cazul suprafețelor ideal curate. Ea este consecința naturii rugoase a suprafețelor de atingere, sau este determinată de forma constructivă a pieselor, cînd joncțiunea se face punctiform. Această trecere coercitivă a curentului prin secțiuni foarte reduse duce, de asemenea, la creșterea densității de curent ($\leqslant 10^5$ A.mm^{-2}) și la o creștere a pierderilor și căderilor de tensiune.

A doua componentă, rezistența peliculară R_p este produsă de existența pe suprafețele de contact a unor pelicule semiconductoare, care strică contactul pur metalic, opunînd o rezistență în calea trecerii curentului.

3. Parametrii principali de lucru ai duliei E – 27

Pentru determinarea diferitelor caracteristici ale duliei E-27, metalică ameliorată, pentru o largă gamă de solicitări electrice, mecanice și termice, s-au calculat și măsurat o serie de parametri, funcție de puterile becurilor utilizate în dulie. În tabela 1 sînt trecute valorile curenților și temperaturilor staționare în lamela centrală, pentru șapte puteri de becuri, în regim nominal de alimentare.

Tabela 1

P, W	U, V	I, A	θ, °C	Obs.
25	220	0,1136	55	Pentru solicitarea termică și măsurarea temperaturilor la dulie vezi figura 2
40	220	0,1818	65	
60	220	0,2727	110	
75	220	0,3409	116	
100	220	0,4545	125	
150	220	0,6818	150	
200	220	0,9091	170	

Temperaturile staționare s-au măsurat cu ajutorul unui termocuplu, fixat pe lamela de contact centrală, care este cea mai solicitată termic, aflîndu-se în condiții nefavorabile de răcire. De asemenea, pentru realizarea solicitării termice maxime a pieselor duliei, aceasta s-a montat într-o armătură metalică, cu reflectorul conic orientat în jos, căldura emisă de către bec, transmițîndu-se prin convecție în sus spre dulie. La această solicitare termică se mai adaugă căldura radiată de filament și căldura transmisă prin conducție între piesele care vin în atingere.

În figura 1 se prezintă forma constructivă a lamelei de contact centrale asupra căreia s-au efectuat măsurătorile.

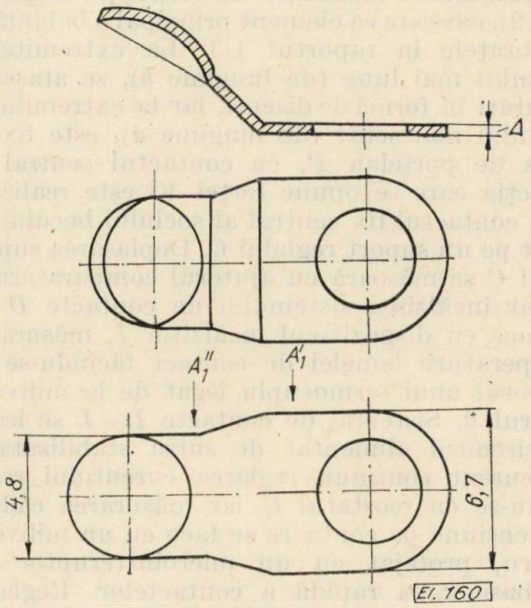


Fig. 1. Lamela de contact centrală

A'_1 – secțiunea cu aria maximă, A''_1 – secțiunea cu aria minimă, Δ – grosimea lamelei.

Din figura 1 se pot determina ariile secțiunilor maxime și minime din lamela centrală pentru trei grosimi Δ de material. Astfel, se notează cu: A'_1 — aria secțiunii maxime, A''_1 — aria secțiunii minime, iar cu j'_1 și j''_1 — densitățile de curent, localizate în secțiunile menționate, determinate cu relația $j = I.A^{-1}[A.\text{mm}^{-2}]$, în care $I = 0{,}9091$ A este curentul corespunzător becului de putere maximă $P = 200$W, iar A este aria secțiunii în lamela considerată.

În tabela 2 sînt trecute valorile densităților de curent pentru lamelele de grosime $\Delta =$ $= 0{,}35$; 0,40 și 0,50 mm. Pentru calculul densității de curent în punctele de contact se dau numai formule empirice pentru contactele masive, folosite în aparatele electrice de tip greu, pentru curenți tari.

Tabela 2

Δ, mm	Lamela centrală de contact			
	A'_1, mm^2	A''_1, mm^2	j'_1, A.mm^{-2}	j''_1, A.mm^{-2}
0,35	$6{,}7 \times 0{,}35 = 2{,}345$	$4{,}8 \times 0{,}35 = 1{,}680$	0,388	0,540
0,40	$6{,}7 \times 0{,}40 = 2{,}680$	$4{,}8 \times 0{,}40 = 1{,}920$	0,349	0,474
0,50	$6{,}7 \times 0{,}50 = 3{,}350$	$4{,}8 \times 0{,}50 = 2{,}400$	0,271	0,379

4. Instalația experimentală pentru ridicarea caracteristicilor

$$R_c = f(F) \text{ și } R_c = f(\theta).$$

Pentru încercările experimentale ale duliei s-a elaborat o instalație de concepție originală (fig. 2), care are ca element principal o balanță B, cu brațele în raportul 1/3. La extremitatea brațului mai lung (de lungime b), se atașează greutăți în formă de discuri, iar la extremitatea brațului mai scurt (de lungime a), este fixată baza de porțelan P, cu contactul central L. Reacția care se opune forței $3G$ este realizată prin contactul fix central al soclului becului D, fixat pe un suport reglabil C. Deplasarea suportului C se măsoară cu ajutorul comparatorului d, iar încălzirea sistemului de contacte $D-L$ se face cu dispozitivul încălzitor I, măsurarea temperaturii lamelei de contact făcîndu-se cu ajutorul unui termocuplu legat de la milivoltmetrul θ. Sistemul de contacte $D-L$ se leagă la circuitul alimentat de sursa stabilizată S de curent continuu reglarea curentului realizîndu-se cu reostatul R, iar măsurarea căderii de tensiune pe contacte se face cu un milivoltmetru, protejat cu un microîntreruptor M, cu bascularea rapidă a contactelor. Reglarea balanței la zero se urmărește la sistemul de vîrfuri V.

5. Rezultatele experimentale privind măsurarea rezistenței de contact funcție de forța de apăsare $R_c = f(F)$

Încercările experimentale s-au efectuat pe instalația descrisă în figura 2. Rezistența de contact R_c se calculează din:

$$R_c = \frac{U_c}{I} = \frac{U_c(F)}{\text{const}}, \ \Omega$$

în care, $R_c = R_s + R_p$ este rezistența de contact care conține cele două componente: de stricțiune și peliculară, Ω;

U_c — căderea de tensiune măsurată pe contacte, V (contactul central al soclului becului și lamela centrală a duliei E — 27), care variază cu forța de apăsare F, prin intermediul rezistenței R_c;

$I = P.U^{-1}$ — curentul continuu prin contacte, funcție de puterea becului, A.

Studiul experimental s-a efectuat pe opt sorturi de materiale din aliaje de alamă și bronz de următoarele mărci: Am 63 (FT) 0,4, Am 63(T) 0,5, Am 63 (FT) 0,5, Am 85 (T) 0,4, Am 85 (T) 0,5, Am 85 (FT) 0,5, Bz 8 (FT) 0,4 și Bz 8 (FT) 0,5. În cele ce urmează se vor prezenta numai rezultatele pentru sortul Am 63 (FT) 0,4.

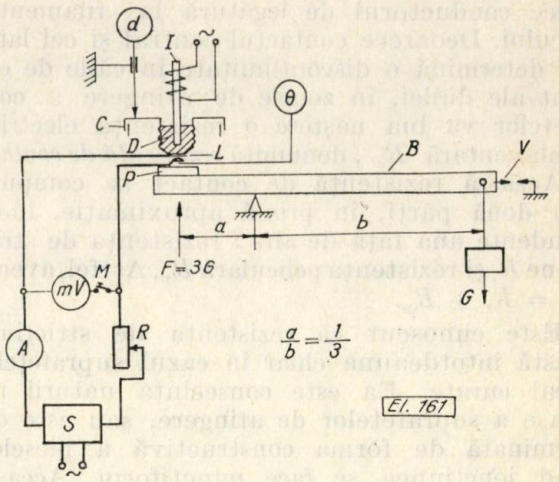


Fig. 2. Schema de principiu a instalației experimentale pentru ridicarea caracteristicilor $R_c = f(F)$ și $R_c = f(\theta)$

B — balanță, C — suport reglabil, D — dulia becului, d — comparator (măsurarea săgeților „d"), G — greutăți, I — încălzitor, L — lamela de contact centrală, P — baza de porțelan, R — reostat, S — sursă de tensiune de c.c. stabilizată, V — vîrfuri pentru reglarea balanței, θ — milivoltmetru pentru măsurarea indirectă a temperaturii).

Parametrii de lucru:

— materialul lamelei centrale de contact: *Am 63 (FT) 0,4*;

— forma lamelei: *trapezoidală cu contact semisferic* (fig. 1);

— gradul de uzură mecanică și electrică a lamelei: *zero*;

— numărul solicitărilor mecanice ale lamelei anterioare încercării: *zero*;

— săgeata maximă d_{max} a lamelei, deformată inițial prin apăsare, pentru excluderea modificării punctului de contact, care ar rezulta la săgeata variabilă prin rotirea suportului C (fig. 5): $d_{max} = 1{,}84$ mm.

S-au determinat experimental curbele $R_c = f(F)$ pentru puterile becurilor $P = 25$; 40; 60; 75; 100; 150; 200 W, în ipoteza că se mențin constanți parametrii: P — puterea becului; I — curentul prin contact (c.c.); θ_s — temperatura staționară a lamelei centrale; θ_a — temperatura mediului ambiant de referință; $\tau_s = \theta_s - \theta_a = \text{const}$ — supratemperatura staționară a lamelei centrale față de temperatura θ_a.

Deoarece curbele $R_c = f(F)$, pentru diferite puteri P ale becurilor, au un caracter comun, se prezintă numai curba (fig. 3) pentru solicitarea cea mai mare, la $P = 200$ W, trasată pe baza tabelei 3. Se menționează că lamela studiată, deși făcea parte din lotul de lamele cu grosimea $\Delta = 0{,}40$ mm avea grosimea reală de 0,35 mm.

6. Concluzii privind curbele $R_c = f(F)$

Pe baza încercărilor experimentale prezentate mai sus se pot trage următoarele concluzii principale, privind rezistența de contact R_c în zona duliei, unde se află în atingere lamela

centrală și contactul de cositor al soclului becului.

a. Materialele contatelor fiind foarte diferite (alamă și cositor) influențează în mare măsură asupra valorilor lui R_c. Prin apăsare pe contacte și la solicitări termice ridicate masa

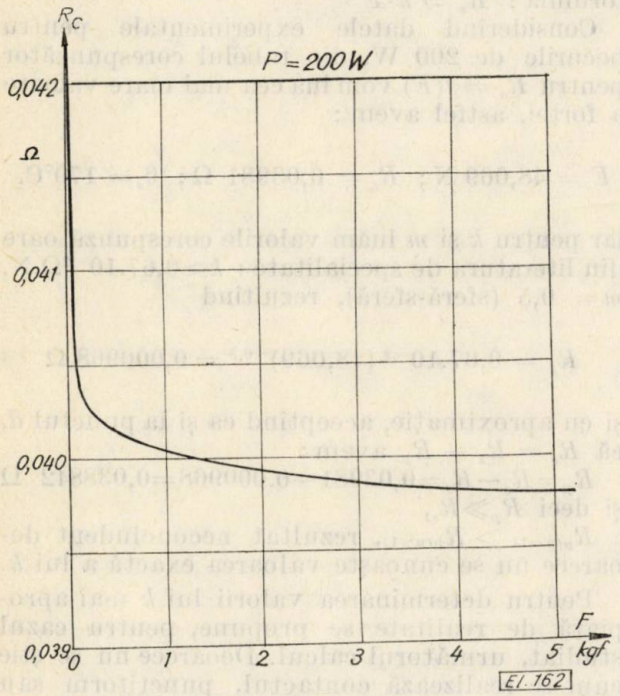


Fig. 3. Graficul funcțiunii $R_c = f(F)$, pentru $P = 200$W și $\theta = 170$°C pentru materialul Am 63 (FT) 0,4 R_c.

Tabela 3

$R_c = f(F)$; $P = 200$ W; $I = 0{,}9091$ A; $\theta_s = 170$°C; $\theta_a = 27$°C; $\tau_s = 143$°C

U_c V	F kgf	F N	$R_c = \frac{U_c}{I}$ Ω	Observații
0,03808	0,015	0,147	0,04188	Contacte oxidate în aer liber. Grosimea reală a lamelei $\Delta = 0{,}35$ mm
0,03672	0,100	0,981	0,04039	
0,03652	0,400	3,924	0,04017	
0,03644	0,700	6,867	0,04008	
0,03640	1,000	9,810	0,04003	
0,03636	1,300	12,753	0,03999	
0,03632	1,600	15,696	0,03995	
0,03632	1,900	18,639	0,02995	
0,03632	2,200	21,582	0,03995	
0,03627	2,500	24,525	0,03990	
0,03627	2,800	27,468	0,03990	
0,03624	3,100	30,411	0,03986	
0,03624	3,400	33,354	0,03986	
0,03620	3,700	36,297	0,03981	
0,03620	4,000	39,240	0,03981	
0,03620	4,300	42,183	0,03981	
0,03620	4,600	45,126	0,03981	
0,03620	4,900	48,069	0,03981	

de cositor se deformează permanent și se oxidează puternic, spre deosebire de alamă care rămîne practic intactă, înafară de apariția pe suprafață (în aerul atmosferic) a unei pelicule subțiri de oxid. Deformațiile materialelor și oxidarea lor manifestă o puternică influență asupra componentelor rezistenței de contact R_s și R_p și în cazul real experimentat aceste componente se influențează reciproc. În acest caz R_c nu se mai poate calcula prin simpla însumare a celor două componente.

b. Sub acțiunea apăsării pe contacte cositorul mai moale se deformează, provocînd mărirea suprafeței de atingere, ducînd la micșorarea rezistenței de contact, lucru confirmat de încercările efectuate.

c. Mărirea suprafeței de atingere poate fi pusă în seama creșterii unei singure suprafețe de contact, sau a creșterii numărului punctelor de atingere, cînd contactul devine multipunctiform. În cazul de față se pot produce ambele efecte sub acțiunea creșterii progresive a forței, avînd în vedere razele de curbură relativ mari ale suprafețelor (sferice) care vin în atingere.

d. Cînd contactul este *punctiform* ($n = 1$), pentru calculul componentei R_s se recomandă formula:

$$R_s = 0{,}89\,(\rho_1 + \rho_2)\theta \sqrt{\frac{\sigma_m}{F}}.$$

Considerînd datele experimentale pentru becurile de 200 W din tabela 3 pentru $R_c = f(F)$ vom lua cea mai mică valoare a forței măsurate (care produce un contact punctiform), astfel avem:

$F = 0{,}147$ N; $R_c = 0{,}04188$ Ω; $\theta_s = 170$°C, și pentru mărimile de material ρ — rezistivitatea și α' — coeficientul de temperatură al rezistivității (ambele la 20°C) și $\sigma_m = \sigma_{\text{cositor}}$ rezistența de strivire avem:

$$\left.\begin{aligned}\rho_1 &= 0{,}064\cdot 10^{-6}\ \Omega.\text{m}\\ \alpha_1' &= 0{,}002\ \text{grd}^{-1},\end{aligned}\right\}\ \text{pentru alamă cu 63 \% Cu;}$$

$$\left.\begin{aligned}\rho_2 &= 0{,}120\cdot 10^{-6}\,\Omega.\text{m},\\ \alpha_2' &= 0{,}0044\ \text{grd}^{-1},\\ \sigma_m &= 44{,}2\cdot 10^6\ \text{N}\cdot\text{m}^{-2},\end{aligned}\right\}\ \text{pentru cositor.}$$

Contactul fiind încălzit pînă la temperatura $\theta_s = 170$°C rezistivitățile trebuie calculate la această temperatură conform:

$$\rho_\theta = \rho_{20}\,[1 + \alpha'_{20}(\theta - 20)],$$

deci, pentru alamă:

$$\rho_{\theta 1} = 0{,}064\cdot 10^{-6}\,[1 + 0{,}002\,(170 - 20)] = 0{,}0831.10^{-6}\ \Omega.\text{m}.$$

iar pentru cositor:

$$\rho_{\theta 2} = 0{,}120\cdot 10^{-6}\,[1 + 0{,}0044\,(170 - 20)] = 0{,}199\cdot 10^{-6}\ \Omega.\text{m}.$$

Cu aceste date se calculează rezistența de strictiune:

$$R_s = 0{,}89(0{,}0831 \cdot 10^{-6} + 0{,}199 \cdot 10^{-6}) \sqrt{\frac{44{,}2.10^6}{0{,}147}} =$$

$$= 0{,}89 \cdot 0{,}2821 \cdot 10^{-6}\, 1{,}735 \cdot 10^4 = 0{,}00436\ \Omega.$$

Acceptînd relația aproximativă $R_c = R_s + R_p$, avem :

$$R_p = R_c - R_s = 0{,}04188 - 0{,}00436 =$$

$$= 0{,}03752\ \Omega,$$

rezultînd că $R_p \gg R_s$, lucru explicabil pentru contactul neomogen alamă — cositor.

Admițînd că suprafața punctiformă de contact de arie A_c este de formă circulară, cu raza r_0, pentru rezistivitatea peliculară obținem : $\rho_p = R_p . \pi r_0^2$ și, izolînd pe r_0 din relația cunoscută $R_c = (\rho_1 + \rho_2)/4 r_0$ obținem :

$$\rho_p = R_p \cdot \pi \left[\frac{(\rho_1 + \rho_2)_\theta}{4 R_s} \right]^2 =$$

$$= 0{,}03752 \cdot \pi\, (16{,}2 \cdot 10^{-6})^2 = 30{,}9 \cdot 10^{-12}\ \Omega \cdot m^2,$$

în care : $r_0 = 16{,}2.10^{-6}$ m $= 0{,}0162$ mm.

Se menționează că ρ_p variază în timp și reprezintă rezistivitatea peliculară globală pentru straturile peliculare ale celor două piese de alamă și cositor în joncțiune, la momentul efectuării încercării, în atmosfera din laborator și la solicitarea termică indicată.

În ipoteza că și la forțe mai mari, de exemplu, pentru $F = 48{,}069$ N, cînd $R_c = 0{,}03981\ \Omega$, contactul se realizează *punctiform* ($n = 1$), procedînd ca în cazul anterior se obține :

$$R_s = 0{,}89 \cdot 0{,}2821 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{44{,}2 \cdot 10^6}{48{,}069}} =$$

$$= 0{,}00241\ \Omega,$$

și deci,

$$R_p = R_c - R_s = 0{,}03981 - 0{,}000241 =$$

$$= 0{,}039569\ \Omega,$$

rezultînd și în acest caz $R_p \gg R_s$.

La forțe mai mari rezistența peliculară este cu $\frac{0{,}039569}{0{,}03752} = 1{,}053$ ori mai mare ca la forțe mai reduse, trebuind însă să fie mai mică în ipoteza că contactele nu se oxidează între timp. Această concluzie la prima vedere greșită rezidă din faptul că în cazul real măsurarea pentru R_c la forțe mai mari s-a făcut după un anumit timp de la măsurarea lui R_c, la forțe mai reduse, interval de timp în care la $\theta = 170$°C oxidarea s-a accentuat, sporind rezistența peliculară. De asemenea, în cazul considerat, ipoteza de calcul $R_c = R_s + R_p$ nu este valabilă, introducînd erori însemnate. Astfel, la forțe ridicate, avem $r_0 = 293.10^{-6}$ m $= 0{,}293$ mm și deci : $\rho_p = 0{,}039569\ \pi \cdot (293.10^{-6})^2 = 10640.10^{-12}\ \Omega.m^2$, fiind mai mare ca în cazul precedent, datorită continuării în timp a procesului de oxidare. Cele două valori pentru ρ_p, calculate mai sus, sînt cu mult mai mari ca la cuprul moale, pentru care $\rho_p = 10^{-12}\Omega.m^2$

e. Cînd contactul este *multipunctiform* ($n > 1$) pentru calculul componentei R_s se recomandă formula : $R_s = k \cdot F^{-m}$

Considerînd datele experimentale pentru becurile de 200 W, din tabelul corespunzător pentru $R_c = f(F)$ vom lua cea mai mare valoare a forței, astfel avem :

$$F = 48{,}069\ N\ ;\ R_c = 0{,}03981\ \Omega\ ;\ \theta_s = 170°C.$$

iar pentru k și m luăm valorile corespunzătoare din literatura de specialitate : $k \approx 0{,}67.10^{-2}\Omega.N$, $m = 0{,}5$ (sferă-sferă), rezultînd

$$R_s = 0{,}67.10^{-2}\,(48{,}069)^{-0{,}5} = 0{,}000968\ \Omega$$

și cu aproximație, acceptînd ca și la punctul d, că $R_c = R_s + R_p$ avem :

$R_p = R_c - R_s = 0{,}03981 - 0{,}000968 = 0{,}038842\ \Omega$ și deci $R_p \gg R_s$,

$R_{p(n=1)} > R_{p(n>1)}$, rezultat neconcludent deoarece nu se cunoaște valoarea exactă a lui k.

Pentru determinarea valorii lui k mai apropiată de realitate se propune, pentru cazul studiat, următorul calcul. Deoarece nu se știe cum se realizează contactul, punctiform sau multipunctiform, se ia media pentru R_p (mărime preponderentă) din cele două cazuri notată cu R_{pm} și cu valorile măsurate pentru R_c și F se determină k :

$$R_c = R_{pm} + R_s = \frac{R_{p(n=1)} + R_{p(n>1)}}{2} + k \cdot F^{-m}\ ;$$

de unde :

$$k = \left(R_c - \frac{R_{p(n=1)} + R_{p(n>1)}}{2} \right) \cdot F^m\ ;$$

și numeric :

$$k = \left(0{,}03981 - \frac{0{,}039569 + 0{,}038842}{2} \right) \cdot$$

$$\cdot (48{,}069)^{0{,}5} = 0{,}000605 \cdot \sqrt{48{,}069} =$$

$$= 0{,}418 \cdot 10^{-2} \approx 0{,}42 \cdot 10^{-2}\ \Omega \cdot N.$$

Pe baza metodei propuse se constată că valoarea cît mai reală a lui k, pentru un caz concret dat, depinde de prima alegere a valorii lui k, în cazul nostru luîndu-se $k = 0{,}67 \cdot 10^{-2}\Omega \cdot N$ pentru contactul alamă-alamă, neexistînd în tabele valori pentru k la contactul alamă-cositor.

f. Din graficele pentru $R_c = f(F)$ se observă că la forțe de apăsare relativ reduse R_c (și corespunzător R_s) este puternic influențată

de valoarea lui F. În cazul studiat (contactul central alamă-cositor) la valori inferioare forței $F = 45$ N, curbele $R_c = f(F)$ variază după o lege hiperbolică, iar pentru forțe mai mari variația curbelor devine liniară, adică $R_c =$ = const. Cînd rezistența de contact este invariabilă cu forța din măsurătorile efectuate se poate prezenta în tabelul 4 împrăștierea valorilor pentru R_c = const.

Tabela 4

P W	θ_s °C	R_c = const. Ω
25	55	0,03908
40	65	0,03760
60	110	0,03833
75	116	0,03920
100	125	0,03835
150	150	0,03988
200	170	0,03980

Cea mai mare împrăștiere (dispersie) se limitează doar la $\frac{0,03988 - 0,03760}{0,03760} 100 \approx 6\%$, fiind o valoare neglijabilă. Cele șapte curbe $R_c = f(F)$, cu alură hiperbolică (în lucrare s-a prezentat numai una singură), nu se suprapun în totalitate deoarece intervin erori de măsurare, oxidări în timpul încercărilor, modificarea contactului, influența temperaturii și o serie de alți factori imprevizibili, fenomenele de contact fiind dintre cele mai greu controlabile.

La contactul central al duliei, considerînd în medie $R_c \approx 0,038$ Ω și comparînd cu valoarea $R_c' = 5,52.10^{-5}$ Ω, obținută la contactul punctiform dintre două bare de cupru moale, apăsate cu forța $F = 45$ N, rezultă că rezistența de contact la dulie este de 690 ori mai mare ca rezistența de contact la barele de cupru. Această mare diferență derivă din faptul că la dulie avem o piesă de contact din cositor, cu mare rezistență peliculară. De obicei, la dulie, pe contactul central, se exercită forțe de apăsare $F \approx 20 \div 60$ N, astfel în timpul funcționării duliei (becul aprins) se poate consiera în medie $R_c \approx 0,038$ Ω.

La duliile în care becul nu este fixat ferm în cartușul filetat, presiunea de apăsare în contactul central este mică și crește considerabil R_c. La dulie nu prezintă importanță valorile rezistenței de contact R_c și căderii de tensiune U_c pe contacte, ci importă menținerea unei presiuni corespunzătoare la contactul central și cel lateral, care depinde în mare măsură de elasticitatea lamelelor de contact ale duliei. Mărimile R_c și respectiv U_c la contactul central sînt influențate mai ales de prezența contactului de cositor al soclului becului.

g. Spre deosebire de contactul central, contactul lateral se realizează între două materiale de mare conductivitate electrică: alamă-alamă sau alamă-tablă galvanizată (cu conductivitate mai redusă). Prin înșurubarea completă a becului se realizează apăsarea maximă pe lamela laterală. La un asemenea contact (alamă-alamă), cu lamela laterală de tipul Am 63 (FT) 0,4, s-a măsurat $U_c = 0,0116$ V, $I =$ = 0,9091 A, rezultînd $R_c = U_c/I = 0,0116/$ /0,9091 = 0,0128 Ω, valoare mai redusă decît la contactul central.

7. Rezultatele experimentale privind măsurarea rezistenței de contact funcție de temperatura contactelor: $R_c = f(\theta)$

Încercările experimentale s-au efectuat pe instalația prezentată în figura 1. Măsurătorile au ca scop determinarea influenței temperaturii asupra rezistenței de contact R_c a lamelei centrale, măsurată în aceleași condiții ca la încercările prezentate la punctul 6, însă cu observația că temperatura θ devine acum un parametru variabil.

Astfel s-a considerat cazul cel mai solicitat termic, cînd dulia funcționează cu un bec de 200 W, $I = 0,9091$ A și apăsarea constantă $F = 4,9$ kgf = 48,069 N. S-au efectuat măsurători cu materialele Am 63(FT) 0,35 și Am 63 (FT) 0,4, deosebirea constînd numai în diferența de grosime. Solicitarea termică a contactelor s-a realizat cu o sursă de căldură exte-

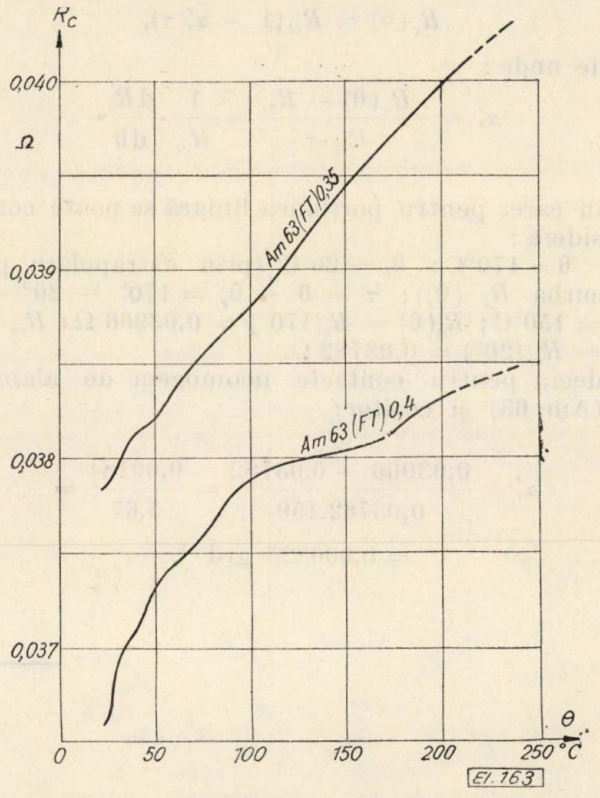


Fig. 4. Graficul funcțiunii $R_c = f(\theta)$ pentru materialele Am 63 (FT) 0,35 și Am 63 (FT) 0,4.

rioară (I, vezi fig. 2), variind temperatura în limitele $\theta = 23 \div 220°C$, avînd în vedere că solicitarea termică normală a lamelei centrale, la $P = 200$ W, este de $\theta = 170°C$. Se menționează că și în acest caz în zona centrală de contact avem joncțiunea alamă-cositor.

În figura 4 se prezintă graficul funcției $R_c = f(\theta)$, determinată pe baza măsurătorilor $R_c = \frac{U_c}{I}$, la diferite valori ale temperaturii, măsurată în lamela centrală și în aceleași condiții de lucru ca la determinarea curbelor $R_c = f(F)$.

8. Concluzii privind curbele $R_c = f(\theta)$

Din alura curbelor din figura 4 se constată că R_c crește cu temperatura aproape liniar, mai ales la lamela de 0,35 mm. La temperatura (de referință) $\theta = 170\,°C$ se obține $R_c = 0{,}03966\ \Omega$, pentru lamela de 0,35 mm și $R_c = 0{,}03810\ \Omega$, pentru lamela de 0,40 mm. Pentru lamela de 0,35 mm, în ipoteza $R_p = \text{const}$, cu aproximație se poate scrie funcția liniară:

$$R_c(\theta) = R_s(\theta) + R_p = R_{sa}(1 + \alpha \cdot \tau) + \text{const},$$

și deoarece nu avem măsurători decît pentru $R_c(\theta)$, pentru detrminarea coeficientului de temperatură a rezistivității α'_r (la temperatura de referință θ_r) vom folosi relația cunoscută:

$$R_c(\theta) = R_{cr}(1 + \alpha'_r\,\tau),$$

de unde:

$$\alpha'_r = \frac{R_c(\theta) - R_{cr}}{R_{cr} \cdot \tau} = \frac{1}{R_{cr}} \cdot \frac{\mathrm{d}R_c}{\mathrm{d}\theta},$$

în care, pentru porțiunea liniară se poate considera:

$\theta = 170°C$; $\theta_r = 20°C$ (prin extrapolare pe curba $R_c(\theta)$); $\tau = \theta - \theta_r = 170° - 20° = 150°C$; $R_c(\theta) = R_c(170°) = 0{,}03966\ \Omega$; $R_{cr} = R_{cr}(20°) = 0{,}03782\ \Omega$,

deci, pentru contacte neomogene de alamă (Am 63) și cositor:

$$\alpha'_r = \frac{0{,}03966 - 0{,}03782}{0{,}03782.150} = \frac{0{,}00184}{5{,}67} = 0{,}000325\ \text{grd}^{-1}.$$

La 20°C pentru materialul Am 63, $\alpha'_r \approx 0{,}002\ \text{grd}^{-1}$, iar pentru cositor $\alpha'_r = 0{,}0044\ \text{grd}^{-1}$ valori date pentru căi de curent din materiale omogene. Calculul pentru α'_r efectuat mai sus se referă la un sistem format din căi de curent din materiale diferite (alamă-cositor) și zona de contact. Diferența valorică pentru parametrul α'_r rezidă din faptul că în primul caz ne referim la un contact neomogen și în al doilea caz la corpuri omogene. Din această mare diferență valorică se trage concluzia practică că formula pentru α'_r nu este exactă.

Raportînd valorile:

$$\varepsilon = \frac{(\alpha'_r)\ \text{contact neomogen Am 63 + cositor}}{(\alpha'_r)\ \text{val. medie pentru două căi de curent alamă și cositor}} = \frac{0{,}000325}{0{,}0032} \approx \frac{1}{10};$$

în care:

(α'_r) val. medie $= 0{,}5\,(0{,}002 + 0{,}0044) = 0{,}0032\ \text{grd}^{-1}$ și deci, formula pentru contacte neomogene ia forma: $R_c(\theta) = R_{cr}(1 + \varepsilon \cdot \alpha'_r \cdot \tau)$, în care α'_r este coeficientul de temperatură al rezistivității pentru materialele x și y în joncțiune, calculat ca medie aritmetică $(\alpha'_{rx} + \alpha'_{ry})\,0{,}5 = \alpha'_r$ iar $\varepsilon = 1/10$, cînd cele două materiale ale contactului sînt alama și cositorul.

Pentru parametrii: $P = 200\text{W}$, $\theta = 170°C$, și $F = 4{,}9$ kgf, pentru materialul Am 63 (FT) 0,35, din curba $R_c = f(F)$, s-a găsit $R_c = 0{,}03981\ \Omega$, iar din $R_c = f(\theta)$, $R_c = 0{,}03966\ \Omega$, rezultînd valori foarte apropiate.

Din măsurătorile efectuate pentru $R_c = f(\theta)$ se trage concluzia că pentru materialele folosite la contactele duliei, variația rezistenței de contact cu temperatura este continuu crescătoare cu mici deviații în jurul unei drepte.

Bibliografie

[1] *Holm, E.* Electric Contacts Handbook, Berlin, Springer, 1958.
[2] *Suciu, I.* Aparate electrice, București Ed. did. și ped., 1968.
[3] *Hortopan, G.* Aparate electrice. București, Ed. did. și ped., 1967.

Intrat în redacție la 20. XI. 1972

Depuneri lucioase de cupru pe aliaje de zinc din băi de pirofosfaţi

OCTAVIAN RADOVICI, CECILIA VASS şi ION SOLACOLU*—Bucureşti

CZ 621.357.2 Cu

Dintre metodele galvanotehnice de protecţie a diferitelor metale se distinge, prin avantajele sale economice, procedeul de cromare, precedat — după cum se ştie — de o cuprare şi nichelare a suportului respectiv. O influenţă determinantă asupra caracteristicilor stratului protector de crom îl au calităţile stratului primar de cupru (aderenţă, compactitate, grad de nivelare etc).

Procedeele clasice de cuprare prevăd utilizarea băilor de cianuri, care însă prezintă o serie de dezavantaje, şi anume [(1] : toxicitate, viteză de depunere redusă, pierderea calităţilor superficiale odată cu creşterea grosimii stratului depus etc. Această situaţie a determinat orientarea cercetărilor spre găsirea unor băi care să înlăture total sau parţial deficienţele arătate. Dintre electroliţii studiaţi, se disting în mod deosebit, prin eficienţa şi calitatea depunerilor obţinute, băile de sulfaţi [2]—[5], fluoboraţi [6]—[9] şi pirofosfaţi [10]—[13]. Este evident că, în cazul cuprării unor materiale care sînt uşor atacate de acizi (ca de exemplu, aliajele de zinc), nu este posibilă utilizarea băilor acide (pe bază de sulfaţi sau fluoboraţi).

Dintre calităţile impuse stratului de cupru, un rol important îl deţine gradul de nivelare a suprafeţei, acesta determinînd în mod direct grosimea stratului de nichel (lucios) depus ulterior, deci şi preţul de cost al întregului proces de protecţie a suprafeţelor metalice.

În lucrarea de faţă se studiază posibilitatea obţinerii unor depuneri de cupru pe aliaje de zinc dintr-un electrolit pe bază de pirofosfat alcalin şi influenţa principalilor parametri ai băii (*p*H, temperatură, agitare, agent de luciu) asupra eficienţei electrochimice a procesului şi structurii acoperirilor.

1. Partea experimentală.

Catozii, confecţionaţi din zamak, au fost lustruiţi pe hîrtie metalografică şi pe pîslă îmbibată cu suspensie de alumină. După degresarea obişnuită în solvent organic (tricloretilenă), electrozii au fost supuşi unei degresări chimice, timp de 5 minute la temperatura de 60°, într-o soluţie de compoziţia : Na_2CO_3 40 g/l, NaOH 5 g/l, Na_3PO_4 15 g/l, Na_2SiO_3 15 g/l. Electrozii au fost spălaţi în apă şi apoi au fost degresaţi electrochimic, timp de un minut la temperatura de 60°, într-un electrolit de compoziţia : NaOH 40 g/l, Na_2CO_3 50 g/l, gluconat de sodiu 40 g/l, sub un curent catodic de 40 mA/cm². După spălare, electrozii au fost decapaţi într-o soluţie de H_2SO_4 10 g/l, timp de 10 secunde la temperatura de 25°, după care au fost spălaţi şi uscaţi la temperatura camerei.

Anozii, confecţionaţi din foi de cupru electrolitic de puritate 99,9%, au fost degresaţi înaintea determinărilor în acelaşi solvent.

Electrolitul constituit din soluţii de complex de cupru cu anionul $P_2O_7^{4-}$ corespunzătoare raportului în greutate $P_2O_7^{4-}/Cu^{2+} = 7 \div 7{,}5$, utilizînd substanţe de puritate p.a. Valoarea pH-ului băii a fost menţinută constantă prin adăugarea cantităţii corespunzătoare de amoniac, soluţie 25% ; controlul pH-ului s-a realizat cu ajutorul unui pH-metru Radiometer tip PHM—22 r. Celula de electroliză, de formă cilindrică şi de capacitate 0,25 l, a fost prevăzută cu un dispozitiv de barbotare a gazului. S-a folosit un montaj de polarizare intensiostatică constituit dintr-o sursă stabilizată de curent de tip Orion EMG 1832/C şi o rezistenţă variabilă pentru asigurarea gamei de curenţi necesari (20 ÷ 80 mA/cm²). Temperatura de lucru a fost menţinută constantă cu o precizie de ±0,1°, cu ajutorul unui termostat universal U—8. Agitarea electrolitului a fost asigurată prin barbotare de azot purificat la o suprapresiune de 20 mm Hg. Agentul de luciu, A.L.2, sub formă de soluţie apoasă, a fost adăugat la electrolit într-o concentraţie de 5 p.p.m. Randamentul de curent a fost determinat gravimetric, prin raportare la cantitatea depusă teoretic. Structura depunerilor a fost studiată cu ajutorul unui microscop metalografic de reflexie tip MIM—7, la o mărire de 500 X.

2. Rezultate şi discuţii.

În scopul stabilirii regimului optim de funcţionare a băii de cuprare, a fost studiată influenţa principalilor parametri (*p*H, temperatură, agitare, adaos de agent de luciu) asupra structurii depunerilor şi randamentului de curent.

Influenţa pH-ului electrolitului. S-a lucrat în domeniul de *p*H cuprins între 6,5 şi 9,5, urmărindu-se limitele domeniului depunerilor lucioase, pentru densităţi de curent cuprinse între 20 şi 60 mA/cm², în absenţa (fig. 1) şi prezenţa (fig. 2) agentului de luciu.

*) Prof. dr. ing. *O. Radovici*, dr. ing. *Cecilia Vass* şi dr. ing. *I. Solacolu* sînt cercetători principali la Centrul de chimie fizică — Bucureşti

Din figura 1 rezultă că densitatea de curent maximă la care depunerea este lucioasă, crește de la valoarea de 30 mA/cm² (pH = 6,5) la

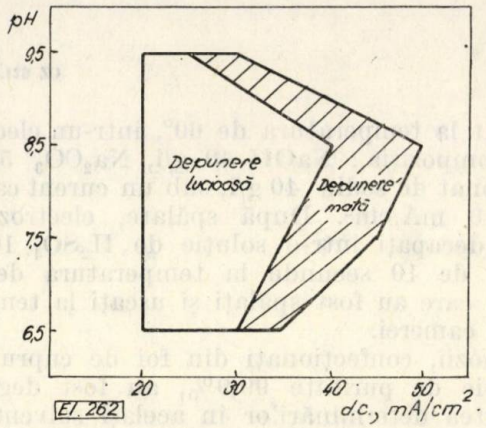


Fig. 1. Variația domeniului depunerilor lucioase, în funcție de pH-ul electrolitului (60°, cu agitare).

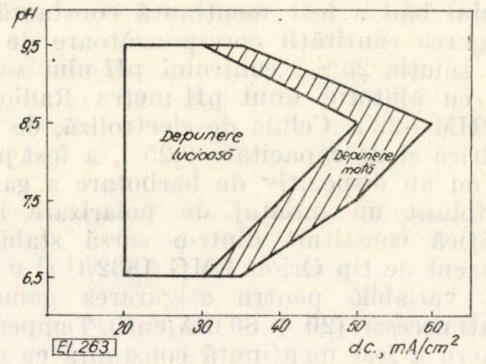


Fig. 2. Variația domeniului depunerilor lucioase, în funcție de pH-ul electrolitului, în prezența agentului de luciu (60°, cu agitare).

valoarea de 40 mA/cm² (pH = 8,5), după care scade la valoarea de 25 mA/cm² pentru electrolitul cu pH = 9,5. În prezența agentului de luciu, curbele au același aspect (fig. 2), valorile maxime ale densităților de curent admisibile fiind de 30, 50 și, respectiv, 30 mA/cm².

Microfotografiile prezentate în figurile 3—6, ilustrează efectul pH-ului electrolitului asupra gradului de nivelare a depunerilor.

La aceiași valoare a pH-ului (8,5), la densități de curent mai mici — 30 mA/cm² — structura depunerilor este mai fină (fig. 3), în comparație cu structura depunerilor obținute la densități de curent mai ridicate — 40 mA/cm² — (fig. 4). Aspectul lucios se menține însă și în acest caz. Pentru aceeași densitate de curent (30 mA/cm²), depunerile sînt mate la pH = 9,5 (fig. 5) și semilucioase la pH = 6,5 (fig. 6).

Studiul variației randamentului de curent în funcție de pH-ul electrolitului, prezentat

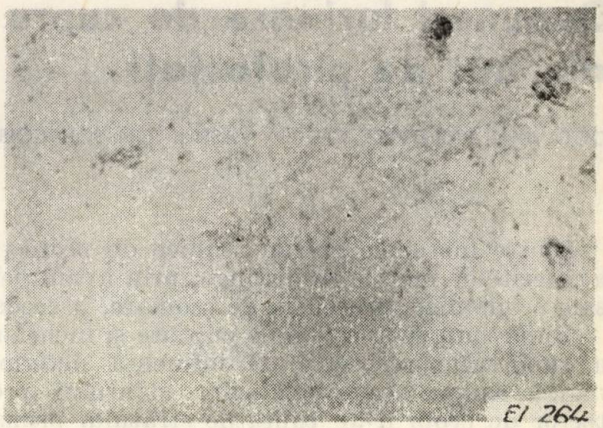


Fig. 3. Structura depunerii de cupru la pH = 8,5 (60°, 30 mA/cm²). Microfotografie, 500 X.

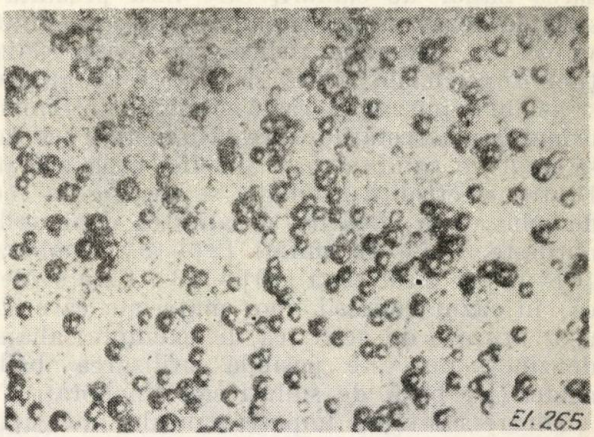


Fig. 4. Structura depunerii de cupru la pH = 8,5 (60°, 40 mA/cm²). Microfotografie, 500 X.

Fig. 5. Structura depunerii de cupru pH = 9,5 (60°, 30mA/cm²) Microfotografie, 500 X.

în figura 7, a arătat că eficiența cea mai ridicată se obține de pH = 7,5 ... 8,5.

În cazul aplicării unei densități de curent de 20 mA/cm², valoarea randamentului de curent este cuprinsă între 98,9% (pH = 7,5) și 99,2%

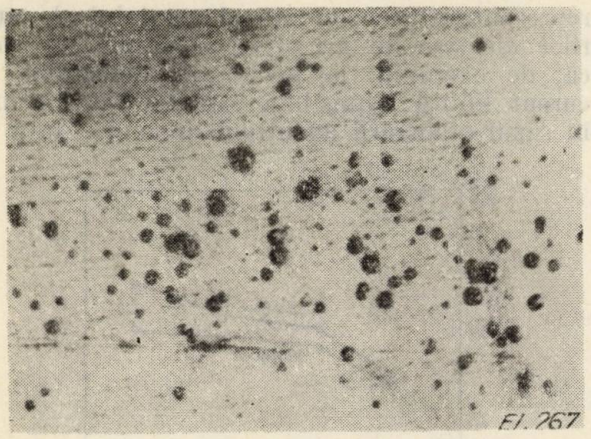


Fig. 6. Structura depunerii de cupru la pH = 6,5 (60°, 30 mA/cm²). Microfotografie, 500 X.

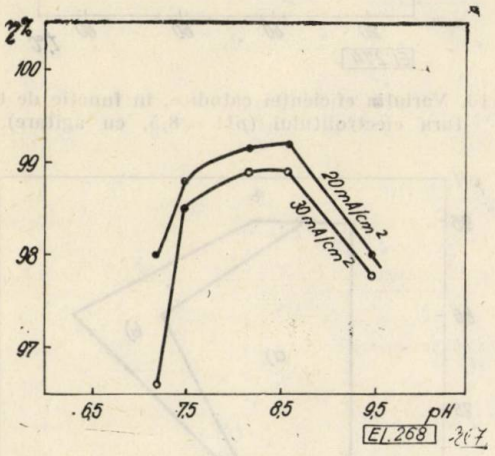


Fig. 7. Variația randamentului de curent în funcție de pH-ul electrolitului.

(pH = 8,5); în cazul unei densități de curent de 30 mA/cm², aceste valori sînt 98,5% și, respectiv, 98,9%.

Rezultatele obținute privind efectul pH-ului electrolitului asupra structurii depunerilor și eficienței catodice, arată că, pentru procesul studiat, pH-ul electrolitului trebuie să fie cuprins între 7,5 și 8,5.

Efectul temperaturii. Temperatura de lucru a fost variată între 25 și 80°, urmărindu-se extinderea domeniului depunerilor lucioase, în aceleași condiții de curent ca și în cazul precedent, în absența (fig. 8) și în prezența (fig. 9) agentului de luciu.

Valorile densității de curent maxime la care se obțin depuneri lucioase ilustrează efectul favorabil al ridicării temperaturii electrolitului; aceste valori cresc de la 25 la 50 mA/cm², pentru temperaturi de 40° și, respectiv, 80°, în cazul absenței agentului de luciu (fig. 8) și de la 25 la 55 mA/cm², pentru temperaturi de 25° și, respectiv, 80°, în prezența agentului de luciu (fig. 9).

Efectul temperaturii electrolitului este ilustrat și de microfotografiile prezentate în figurile 10—12.

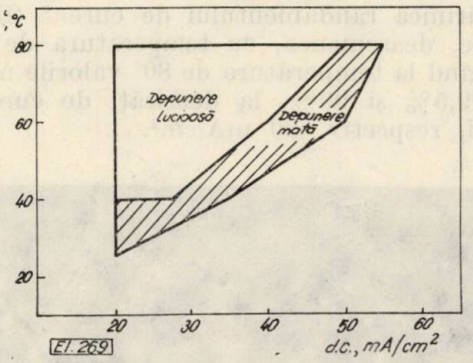


Fig. 8. Variația domeniului depunerilor lucioase, în funcție de temperatura electrolitului (pH = 8,5, cu agitare).

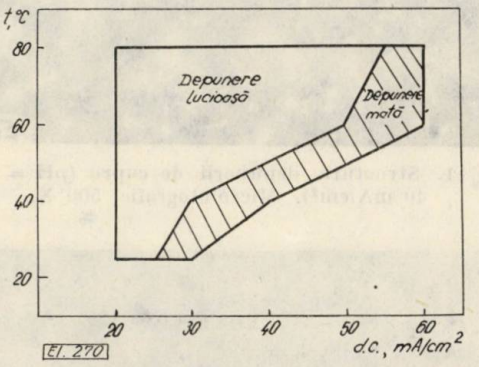


Fig. 9. Variația domeniului depunerilor lucioase, în funcție de temperatura electrolitului, în prezența agentului de luciu (pH = 8,5, cu agitare).

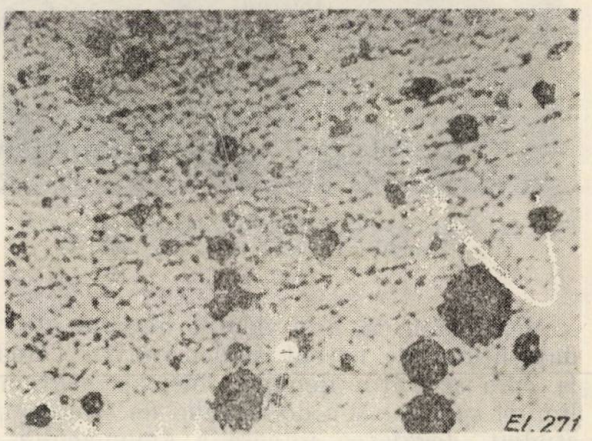


Fig. 10. Structura depunerii de cupru (pH = 8,5, 40°, 30 mA/cm²). Microfotografie, 500 X.

La aceeași valoare a densității de curent (30, și, respectiv, 40 mA/cm²), aspectul depunerilor la temperatura de 40° (fig. 10 și fig. 11) este necorespunzător, în comparație cu aspectul

depunerilor realizate la temperatura de 60° (fig. 3 şi, fig. 4).

Microfotografia prezentată în figura 12 arată că, la temperatura de 80°, în absenţa agentului de luciu, se obţin depuneri lucioase, chiar şi la o densitate de curent de 50 mA/cm².

Mărimea randamentului de curent (fig. 13) creşte, deasemenea, cu temperatura de lucru, atingînd la temperatura de 80° valorile maxime de 99,5% şi 99%, la densităţi de curent de 20 şi, respectiv, 30 mA/cm².

Fig. 11. Structura depunerii de cupru (*p*H = 8,5, 40°, 40 mA/cm²). Microfotografie, 500 X.

Fig. 12. Structura depunerii de cupru (*p*H = 8,5, 80°, 50m A/cm²). Microfotografie, 500 X.

Menţionăm că, deşi valorile maxime ale randamentului de curent şi densităţilor catodice la care se obţin depuneri lucioase corespund limitei superioare a domeniului de temperatură studiat, degajarea intensă a amoniacului din electrolit limitează ridicarea temperaturii de lucru la valoarea de 60°.

Efectul adăugării agentului de luciu. Adăugarea de 5 p.p.m. de agent de luciu la electrolitul de cuprare măreşte considerabil domeniul densităţilor de curent la care se obţin depuneri lucioase. Astfel, din figura 14, în care este reprezentată dependenţa domeniului depunerilor lucioase de *p*H-ul electrolitului, se vede că, de exemplu, la *p*H = 8,5, densitatea de curent limită admisibilă este de 50 mA/cm², în cazul adăugării agentului de luciu, faţă de

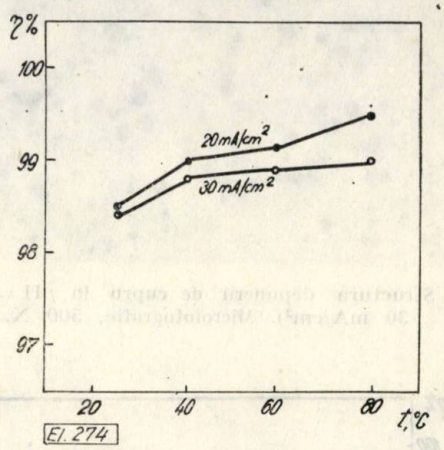


Fig. 13. Variaţia eficienţei catodice, în funcţie de temperatura electrolitului (*p*H = 8,5, cu agitare).

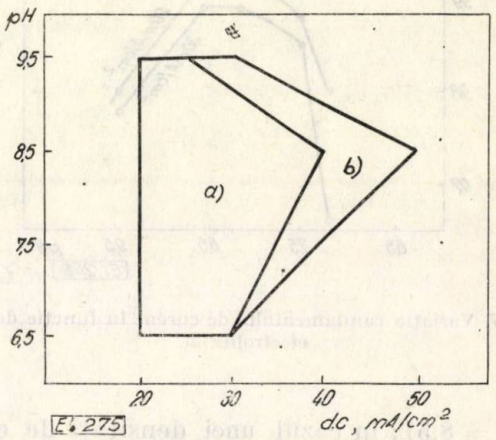


Fig. 14. Influenţa agentului de luciu asupra domeniului depunerilor lucioase, în funcţie de pH-ul electrolitului (60°, cu agitare). a — fără agent de luciu ; b — cu agent de luciu.

Fig. 15. Structura depunerii de cupru în cazul adăugării agentului de luciu (*p*H = 8,5, 60°, 40 mA/cm², cu agitare). Microfotografie, 5 00 X.

40 mA/cm², în cazul absenței acestuia, ceea ce reprezintă o creștere de 25% a vitezei de depunere. Acest efect este ilustrat și de microfotografia prezentată în figura 15 (pH = 8,5, 60°, 40 mA/cm²) în comparație cu microfotografia din figura 4, care corespunde unei depuneri realizate în aceleași condiții, dar în absența agentului de luciu. De asemenea, chiar și la densități mari de curent (60 mA/cm² la pH = = 8,5 și 60°) se obțin depuneri aproximativ lucioase (fig. 16).

Fig. 16. Structura depunerii de cupru în cazul adăugării agentului de luciu (pH = 8,5, 60°, 60 mA/cm², cu agitare) Microfotografie, 500 X.

Studiul efectului adaosului de agent de luciu la diferite temperaturi (fig. 17) ilustrează același efect favorabil. De asemenea, se constată că, în prezența agentului de luciu, se pot obține

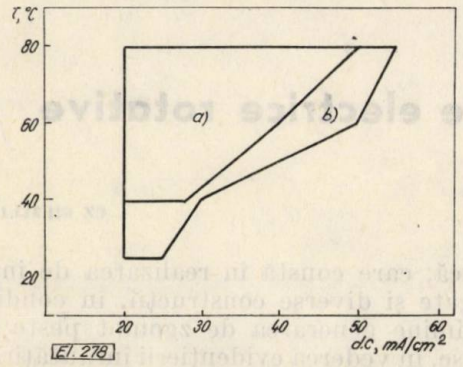


Fig. 17. Influența agentului de luciu asupra domeniului depunerilor lucioase, în funcție de temperatura electrolitului (pH = 8,5, cu agitare).
a. fără agent de luciu; b. cu agent de luciu.

depuneri lucioase chiar și la temperatura obișnuită, pentru densități de curent de aproximativ 20 mA/cm².

Efectul agitării electrolitului. Agitarea electrolitului prin barbotare de azot purificat la o suprapresiune de 20 mm Hg provoacă o creștere considerabilă a domeniului depunerilor lucioase. Astfel, din figura 18, în care este reprezentată extinderea domeniului lucios a pH = = 8,5 în funcție de temperatură, se vede că, în cazul agitării electrolitului (zona *b*) valorile densităților de curent maxime la care se obțin depuneri lucioase sînt de 25, 40 și 50 mA/cm²

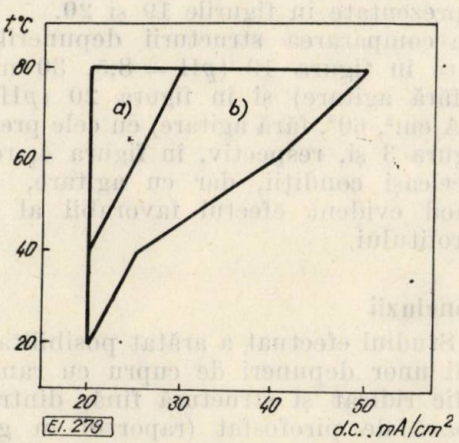


Fig. 18. Influența agitării electrolitului asupra domeniului depunerilor lucioase, în funcție de temperatură (pH = = 8,5, fără agent de luciu).
a. fără agitare; b. cu agitare.

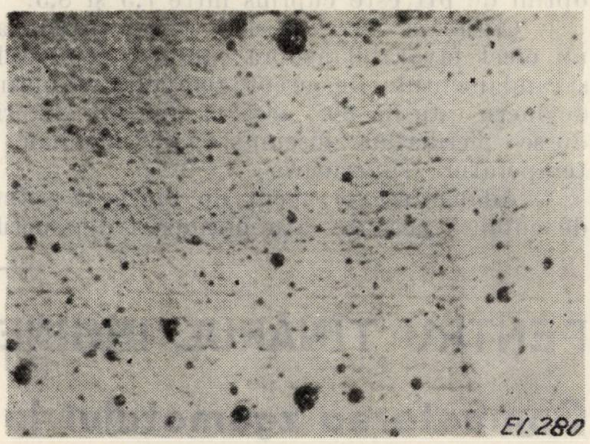


Fig. 19. Structura depunerii de cupru în absența agitării electrolitului (pH = 8,5, 60°, 30 mA/cm²). Microfotografie, 500 X.

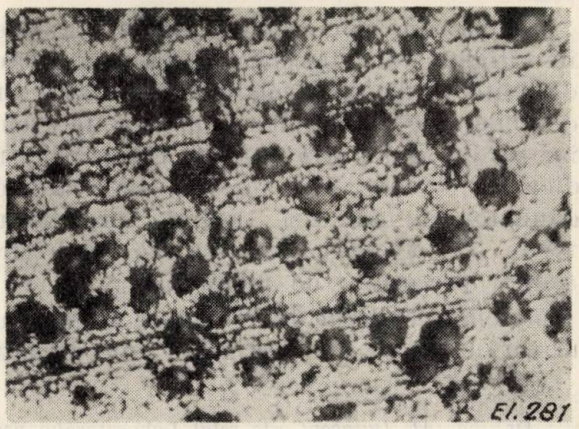


Fig. 20. Structura depunerii de cupru în absența agitării electrolitului (pH = 8,5, 60°, 40 mA/cm²). Microfotografie, 500 X.

la temperaturile de 40°, 60° și, respectiv, 80°, în comparație cu valorile de 20, 25 și, respectiv, 30 mA/cm² pentru aceleași temperaturi, în cazul neagitării electrolitului (zona a).

Acest efect este ilustrat și de microfotografiile prezentate în figurile 19 și 20.

Din compararea structurii depunerilor prezentate în figura 19 (pH = 8,5, 30 mA/cm², 60°, fără agitare) și în figura 20 (pH = 8,5, 40 mA/cm², 60°, fără agitare) cu cele prezentate în figura 3 și, respectiv, în figura 4, realizate în aceleași condiții, dar cu agitare, rezultă în mod evident efectul favorabil al agitării electrolitului.

3. Concluzii

— Studiul efectuat a arătat posibilitatea obținerii unor depuneri de cupru cu randament catodic ridicat și structură fină, dintr-o baie pe bază de pirofosfat (raportul în greutate $P_2O_7^{4-}/Cu^{2+}$ = 7 ... 7,5), pe aliaje de zinc (zamak).

— Rezultatele privind influența pH-ului asupra procesului de cuprare, au arătat că domeniul optim de pH este cuprins între 7,5 și 8,5.

— Creșterea temperaturii electrolitului are un efect favorabil asupra calității depunerilor și randamentului de curent ; temperatura optimă de lucru este de 60°, această limitare datorîndu-se pierderilor însemnate de amoniac la temperaturi superioare.

— Adăugarea de agent de lucru la soluția de cuprare permite, atît obținerea depunerilor lucioase chiar și la temperatura obișnuită, cît și creșterea vitezei de depunere cu aproximativ 25%, în condiții optime de pH și temperatură.

— Agitarea electrolitului produce o creștere importantă a domeniului depunerilor lucioase ; în condițiile optime de pH și temperatură, ca rezultat al agitării electrolitului, densitatea de curent maximă admisibilă crește de la 25 la 40 mA/cm².

Bibliografie

[1] *Glayman, J.* În : Galvano, **37**, 1968, p. 99.
[2] *Damjanovic, A.* și *Bockris, J.* O'M. În : Electrochimica Acta, **10**, 1965, p. 111.
[3] *Kovarskii, N. I.* și *Grușin, N. P.* În : Jurnal Prikladnoi Himii, **39**, 1966, p. 2820.
[4] *Kudriavțev, N. T.* și *Neceaev, E. A.* În : Zașcita Metallov, **6**, 1970, p. 469.
[5] *Clauss, R. J.* și *Adamowicz, N. C.* În : Plating, **57**, 1970, p. 236.
[6] *Schotter, M., Korpinn, J.* și *Nurmeister, W.* În : Zeitschrift für Metallkunde, **25**, 1933, p. 107.
[7] *Leiner, V. I.* și *Velicико, I. A.* În : Vestnik Mașinostroenia, **37**, 1957, p. 60.
[8] *Safranek, W. H.* În : „Modern Electroplating", Ed. Löwenheim, F.A., J. Wiley, New York, 1967, p. 172.
[9] *Benninghoff, H.* În : Oberfläche, 1970, p. 8.
[10] *Passal, F.* În : Plating, **46**, 1959, p. 628.
[11] *Levin, A. I.* și *Gurilev, V. .V* În : Jurnal Prikladnoi Himii, **34**, 1961, p. 1775.
[12] *Hampel, J., Strumpf, G.* și *Zery, H.* În : Elektrie, **17**, 1963, p. 269.
[13] *Dini, J. W., Johnson, H. R.* și *Helms, J. R.* În : Plating, **54**, 1967, p. 1337.

Intrat în redacție la 10.X. 1 97

PENTRU TÎNĂRUL INGINER

Combaterea zgomotului la mașinile electrice rotative

ALEX. DARABONT și DAN VĂITEANU* — București

CZ 621.313.1:534.21.0014

Combaterea zgomotului în industrie a devenit în ultimele două decenii o problemă deosebit de acută, pe de o parte datorită înmulțirii considerabile și creșterii puterii surselor de zgomot, iar pe de altă parte datorită cercetărilor medicale efectuate, care au evidențiat caracterul dăunător al acestuia asupra organismului uman și efectele negative ce se răsfrîng asupra procesului de producție.

Metodele moderne de combatere a zgomotului urmăresc trei scopuri distincte : unul de natură tehnică, care constă în realizarea de instalații, agregate și diverse construcții, în condiții care să elimine generarea de zgomot peste limitele admise, în vederea evidențierii înrăutățirii caracteristicilor funcționale, a scăderii calității produselor și a degradării premature a elementelor componente ale acestora ; unul de natură socială, care constă în înlăturarea aspectului de noxă pe care îl prezintă poluarea cu zgomot, pentru a nu afecta pe muncitori și pe ceilalți salariați ; un scop de natură medico-sanitară, care constă în protejarea muncitorului împotriva efectelor complexe pe care le provoacă stările de zgomot, periclitînd efortul fizic și psihic, starea de sănătate și capacitatea de muncă ale oamenilor.

Combaterea zgomotului mașinilor electrice rotative este o problemă deosebit de importantă,

* Dr. ing. *Al. Darabont* este șeful Laboratorului pentru combaterea zgomotului la Institutul de cercetări științifice pentru protecția muncii, iar ing. *D. Văiteanu* lucrează la M.I.C.M.G.

avînd în vedere că acestea intră în componența multor utilaje și instalații din diferite domenii de activitate industrială.

Sursele de zgomot la mașinile electrice rotative

La mașinile electrice rotative zgomotul se produce concomitent de la mai multe componente fiind de natură diferită : zgomotul mecanic, zgomotul turbionar și zgomotul magnetic.

Zgomotul mecanic are drept cauze neechilibrarea pieselor în rotație ale mașinii, apariția forțelor de ciocnire și de frecare în lagăre (zgomotul lagărelor) și vibrația periilor (zgomotul periilor). Zgomotul lagărelor apare ca urmare a faptului că execuția și montajul rotorului și ale lagărelor nu se pot efectua atît de perfect, încît să nu aibe loc în lagăre eforturi dinamice variabile în timp ; zgomotul periilor ia naștere la mașinile cu colector și la cele cu inele, depinzînd de calitatea periilor, a suprafețelor de alunecare, de starea de rodare a periilor, de calitatea ghidării lor în portperii, de presiunea periilor pe suprafața de contact și de fenomenul de comutație. Energia acustică a zgomotului periilor este repartizată pe un număr de componente armonice ale unei fundamentale, a cărei frecvență este funcție de turația rotorului și de numărul lamelelor colectorului.

Zgomotul turbionar provine, în general, de la ventilatorul mașinilor electrice rotative și este produs de circulația forțată a aerului de răcire din interiorul mașinii. Gradul de tărie a zgomotului crește rapid cu mărirea diametrului și turației rotorului, precum și cu micșorarea spațiului dintre rotorul ventilatorului și scuturi.

O sursă de zgomot turbionar o constituie însuși rotorul mașinii ca urmare a circulației aerului de răcire în lungul rotorului. Zgomotul produs are un caracter armonic, frecvența componentei fundamentale fiind egală cu produsul dintre turația rotorului și numărul crestăturilor acestuia.

Zgomotul magnetic este generat de oscilațiile rotorului și statorului sub acțiunea forțelor magnetice pulsatorii din întrefierul mașinii electrice. Intensitatea zgomotului magnetic poate crește mult dacă în întrefier apar cîmpuri magnetice parazite cu frecvența unghiulară egală cu frecvențele unghiulare armonice ale cîmpului principal. De asemenea, în cazul în care statoarele nu sînt perfect circulare iar rotoarele nu au o simetrie axială sau sînt insuficient axate, în întrefierul acestor mașini apar o serie de forțe magnetice alternative parazite, care dau naștere unor vibrații suplimentare.

Metode de combatere a zgomotului mașinilor electrice rotative

Metodele de combatere a zgomotului mașinilor electrice rotative trebuie să se bazeze atît pe determinarea surselor de zgomot existente cît și pe ponderea pe care o are fiecare componentă în zgomotul global. La elaborarea soluțiilor de combatere a zgomotului trebuie să se realizeze un echilibru între cerințele acustice, posibilitățile tehnice și aspectele economice, în care rolul hotărîtor îl are costul cerințelor acustice.

Soluțiile de combatere a zgomotului se referă atît la înlăturarea lui direct la sursă cît și la împiedicarea propagării zgomotului în mediul înconjurător. Calea cea mai economică și mai eficace este suprimarea sau reducerea zgomotului la sursă.

Principalele posibilități de natură electrică pentru combaterea zgomotului la mașinile electrice rotative, sînt următoarele.

a) Alegerea unei astfel de combinații a crestăturilor încît să se reducă armonicile cîmpului magnetic. Dificultăți în calea acestei optimizări pot să apară din punct de vedere al factorului de putere sau al altor parametri.

b) Reducerea intensității cîmpului magnetic prin micșorarea intensității curentului în circuitul de excitație a motorului. Aplicarea acestei măsuri este mai dificilă deoarece un motor cu un cîmp magnetic slab ar avea dimensiuni mai mari pentru o aceeași putere nominală.

c) Înclinarea crestăturilor rotorului, schimbarea întrefierului, sau variația dimensiunilor crestăturilor rotorului, sau ale statorului.

În cazul motoarelor mari soluțiile prezentate mai sus, atenuează în prea mică măsură nivelul zgomotului și au un preț de cost ridicat.

În studiul actual de rezolvare a problemei, se apelează mai des la procedee de natură mecanică pentru combaterea zgomotului. Dintre acestea amintim cîteva.

a) Decalarea sau realizarea unor forme speciale ale orificiilor radiale de ventilație în stator sau rotor. Tendința de a se obține motoare cu puteri mari, la dimensiuni cît mai reduse permite o intervenție mai dificilă în ventilația rotorului sau a statorului.

b) Schimbarea configurației capetelor de bobine rotorice sau statorice.

c) Schimbarea ventilatorului și a formei orificiilor de admisie a aerului, decalarea paletelor ventilatorului, modificarea numărului sau a formei paletelor, evitarea pe cît posibil a coturilor și a strangulărilor în circuitul aerului de răcire.

d) Montarea în dreptul canalelor de admisie și de evacuare a aerului a unor atenuatoare de zgomot.

e) Închiderea motoarelor în carcase fonoizolante și fonoabsorbante.

După cum s-a arătat, una din principalele surse de zgomot la mașinile electrice o constituie ventilatorul. Nivelul zgomotului generat depinde în mod direct de debitul de aer al ventilatorului și de dimensiunile sale geometrice. Pe

baza acestei considerații, a fost realizat un ventilator cu nivel de zgomot redus, avînd două rînduri de palete și care asigură o răcire bună a mașinii respective (fig. 1) [3]. Acest tip de

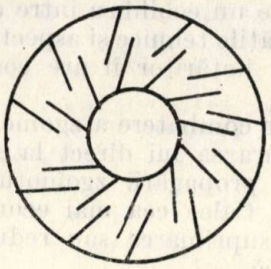


Fig. 1. Ventilator silențios cu două rînduri de palete.

ventilator se deosebește de ventilatorul centrifugal, de tip obișnuit, prin faptul că pe statorul său se montează un rînd de palete auxiliare, cu ajutorul cărora se poate compensa depresiunea care se creează în spatele paletelor din rîndul principal.

Noua construcție a ventilatorului a fost introdusă în producția de serie la mașinile electrice de curent continuu, făcînd parte din seria „p". Măsurările efectuate au arătat că în comparație cu ventilatorul centrifugal obișnuit, ventilatorul cu două rînduri de palete asigură o reducere a nivelului de zgomot global cu 5—7 dB, iar pe componentele spectrului cu 8—10 dB, la turația de 1 500 rot/min o influență asupra nivelului de zgomot generat de ventilator o are și orientarea paletelor sale. În figura 2 se prezintă comparativ spectrograme

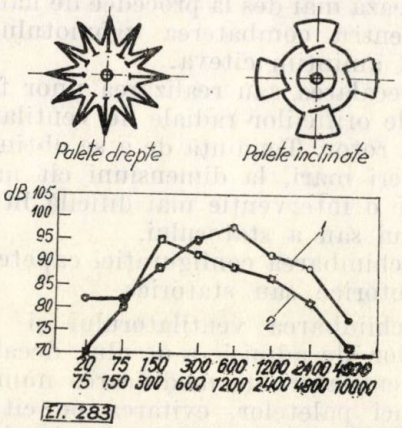


Fig. 2. Spectrul zgomotului la un ventilator cu palete drepte (curba 1) și la unul cu palete cu profil aerodinamic (curba 2).

ale zgomotului generat de un ventilator cu palete drepte (curba 1) și de unul cu palete cu profil aerodinamic (curba 2).

O altă soluție în vederea reducerii nivelului de zgomot produs de ventilator constă în montarea unui atenuator la admisia aerului de răcire, așa cum se vede în figura 3 a, la un motor tip TEFC [7, 9]. Comparînd spectrul zgomotului cu și fără atenuator, se constată că nivelul zgomotului este redus la componente de peste 300 Hz (fig. 3 b) cu maximum 12 dB.

O variantă modificată a acestei soluții, aplicată la motorul TEFC—DS, este reprezentată în figura 4.

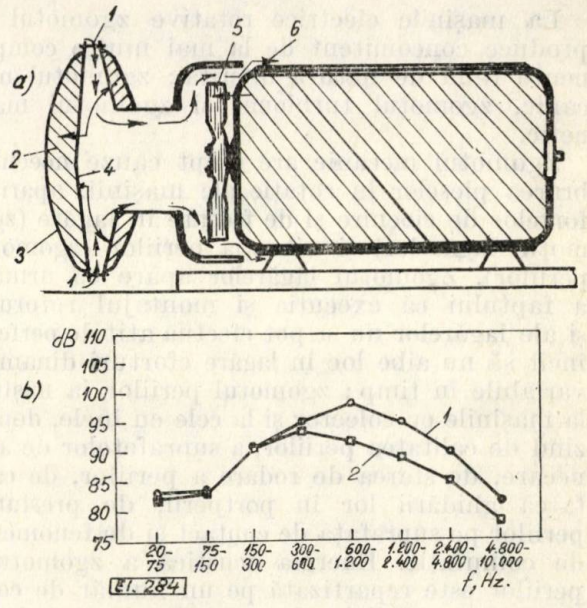


Fig. 3.a Motorul electric tip TEFC prevăzut cu un atenuator de zgomot la admisia aerului de răcire :

1 — intrarea aerului ; *2* — material fonoabsorbant ; *3* — tablă de oțel ; *4* — tablă perforată ; *5* — ventilator ; *6* — ieșirea aerului.

b. Spectrul zgomotului ; fără (curba 1) și cu atenuator (curba 2).

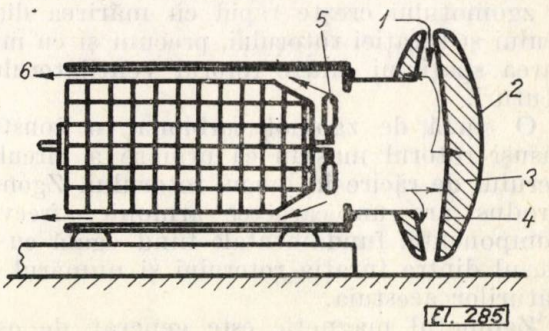


Fig. 4. Motor electric tip TEFC—DS prevăzut cu atenuator de zgomot :

1 — intrarea aerului ; *2* — tablă ; *3* — material fonoabsorbant ; *4* — tablă perforată ; *5* — ventilator ; *6* — evacuarea aerului.

La unele tipuri de mașini electrice rotative se pot monta atenuatoare de zgomot la admisia cît și la refularea aerului de răcire, așa cum se vede în figura 5, unde cifrele superioare reprezintă nivelurile de zgomot înainte de montarea acestora, cifrele încercuite, amortizările realizate, iar cifrele inferioare, nivelurile după montarea atenuatoarelor. În figura 6 se prezintă o vedere o unui asemenea motor prevăzut cu două atenuatoare. În cazul în care scăderile nivelului de zgomot realizate de atenuatoare se dovedesc insuficiente, se pot utiliza carcase

fonoizolante și fonoabsorbante. Zgomotul, în acest caz, se propagă de la sursă în mediul înconjurător (figura 7).

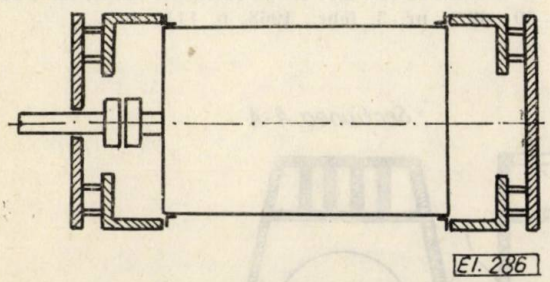


Fig. 5. Utilizarea unor atenuatoare la intrarea și ieșirea aerului de răcire și eficacitatea lor.

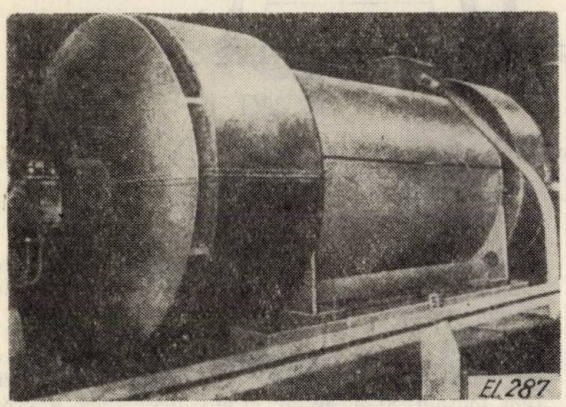


Fig. 6. Motor electric prevăzut cu amortizoare de zgomot.

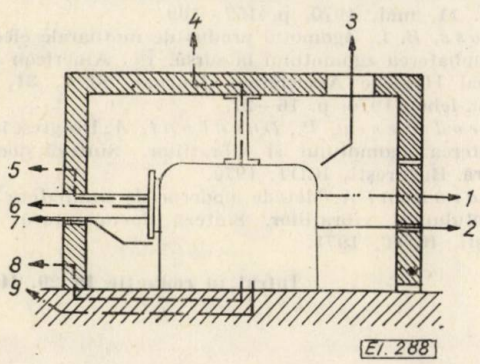


Fig. 7. Căile de propagare a zgomotului în cazul mașinilor electrice închise în carcasă :

1 — peretele carcasei ; *2* — orificiile mici existente ; *3* — găurile pentru circulația aerului de răcire ; *5* — legăturile existente între mașină și carcasă ; *5* — arborele mașinii și peretele carcasei ; *6* — arborele mașinii ; *7* — interstițiul dintre arbore și peretele carcasei ; *8* — fundația și peretele carcasei *9* — fundație și pardoseală.

Carcasele fonoizolante și fonoabsorbante ale mașinilor electrice se pot executa în diferite variante, însă fiecare dintre acestea trebuie să asigure o răcire corespunzătoare a lor. Astfel în figura 8 a și b sînt reprezentate două variante ale unor astfel de carcase, recomandate la mașinile electrice de mare putere.

Soluția constructivă a carcasei fonoizolante depinde și de modul de admisie și de evacuare a aerului de răcire. Astfel în cazul admisiei și evacuării radiale a aerului de răcire se poate utiliza carcasa prezentată în figura 9 a, iar în cazul admisiei și evacuării axiale, carcasa din figura 9 b.

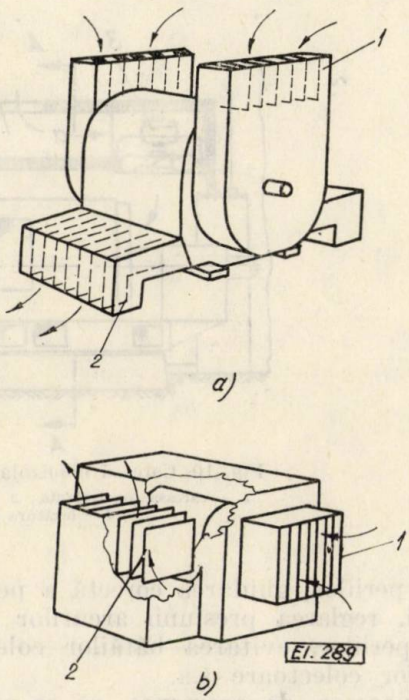


Fig. 8 a și b. Carcase fonoizolante pentru mașini electrice : *1* și *2* — atenuatoare de zgomot la intrarea și respectiv la ieșirea aerului de răcire.

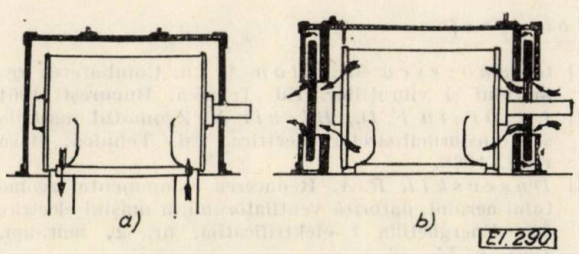


Fig. 9 a și b. Carcase fonoizolante pentru motoare electrice

Pentru a asigura circulația aerului de răcire la unele mașini electrice de mare putere, poate să apară necesitatea utilizării unui ventilator special așa cum se vede în figura 10.

Zgomotul lagărelor se poate combate cunoscînd cauzele care generează aceste fenomene. Astfel, în cazul lagărelor de alunecare, pentru ca acestea să funcționeze silențios, este necesar să nu fie prea încărcate și de aceea se recomandă ca lagărele să fie supradimensionate față de rezultatele obținute din calcule. În cazul utilizării rulmenților, se va acorda o deosebită atenție montării acestora. Montarea și demontarea lor se va executa la cald, prin încălzire în băi de ulei la 80°C, cu dispozitive speciale de presare sau de extracție și nu prin batere.

Valoarea zgomotului generat de rulmenți poate fi redusă prin montarea acestora în casete umplute cu un lubrifiant cu vîscozitate mare.

Zgomotul periilor poate fi combătut prin îmbunătățirea calității suprafeței colectorului,

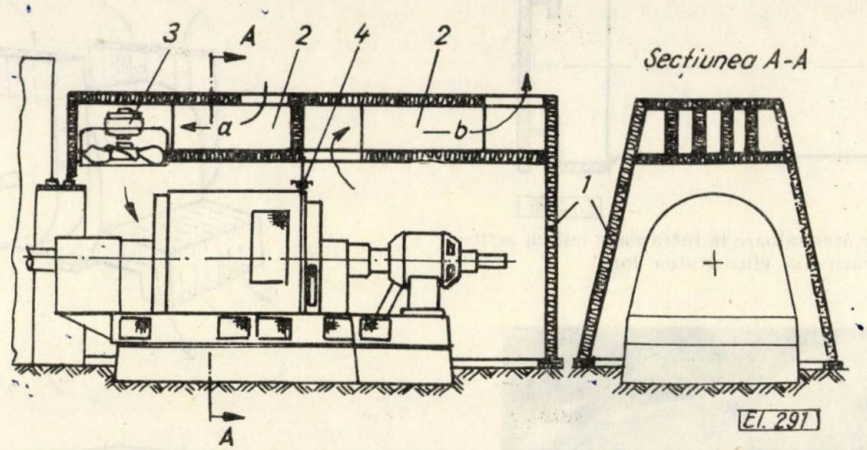


Fig. 10. Carcasă fonoizolantă prevăzută cu ventilator pentru aerul de răcire:
1 — carcasa fonoizolantă; *2* — atenuatoarele de zgomot ale carcasei; *3* — ventilatorul axial; *4* — legătura vibroizolantă dintre carcasă și mașina electrică.

rodarea periilor, ghidarea corectă a periilor în portperii, reglarea presiunii arcurilor de apăsare a periilor, evitarea bătăilor colectorului și inelelor colectoare ș.a.

Este necesar, de asemenea, să se aleagă în mod corespunzător densitatea de curent și tensiunea de contact și să se evite înrăutățirea comutației.

Bibliografie

[1] *Grumăzescu M., Stan A.* ș.a. Combaterea zgomotului și vibrațiilor. Ed. Tehnică, București, 1964.

[2] *Lăzăroiu F. D., Bichir N.* Zgomotul mașinilor și transformatoarelor electrice. Ed. Tehnică, București, 1968.

[3] *Dașevskii, R. A.* Reducerea componentei zgomotului aerului, datorită ventilatorului, la mașini electrice. În: Energhetika i elektrificatiia, nr. 2, mar.-apr., 1968, p. 55—56.

[4] * * * Zgomotul motoarelor mari și reducerea lui. În: Power Engineering, **72**, nr. 10, oct., 1968, p. 54—57.

[5] *Wessel, R.* Cauzele zgomotelor la mașinile electrice și eliminarea lor. În: Elektromeister, nr. 2, ian., 1968, 59—62 și nr. 3, febr., 1968, p. 111—112.

[6] *Onduska, E.* Proiectarea unui motor electric, cu rotor în scurtcircuit, de putere mare, silențios. În: Maschinenmarkt, RFG, vol. **78**, nr. 27, apr., 1972, p. 530—532.

[7] *Judd, S. H.* ș.a. Combaterea zgomotului la motoarele electrice. În: American Industrial Hygiene Association Journal, SUA, **30**, nr. 6, nov.-dec., 1969, p. 588—595.

[8] *Nailen, R. C.* Sisteme de absorbție a zgomotelor motoarelor. În: Chemical Engineering, SUA, **77**, nr. 11, mai, 1970, p. 157—169.

[9] *Goss, B. L.* Zgomotul produs de motoarele electrice: combaterea zgomotului la sursă. În: American Industrial Hygiene Association Journal, SUA, **31**, nr. 1 ian.-febr., 1970, p. 16—21.

[10] *Teodorescu, P., Darabont, A.* Progrese în combaterea zgomotului și vibrațiilor. Sinteză documentară. București, ICDT, 1970.

[11] *Darabont A.* Metode moderne de combatere a zgomotului și vibrațiilor. Sinteză documentară, București, ICDT, 1971.

Intrat în redacție la 20. II. 1973

LISTA LUCRĂRILOR ŞTIINŢIFICE PUBLICATE DE ACAD. A. AVRAMESCU

Lucrări şi articole originale

1. *Proiect de regulament pentru protecţia liniilor de telecomunicaţii în apropierea liniilor de energie şi tracţiune.* Broşură IRE, 1933, 25 p.
2. *Situaţia telegrafiei în România.* Comunicare la Congresul AGIR Iaşi, 1936 Bul. AGIR, **18**, 9, 1936, p. 51—55.
3. *De la o nomenclatură nouă la un nou plan al funcţionării contabilităţii şi registraturii.* Rev. PTT, **9**, 1936, p. 191—195.
4. *Ladung von Sammlerbaterien mittels Trockengleichten.* Bul. math, phys. Ec. Politechn. Bucureşti, **8**, 1—2—3, 1937, p. 150—159. Recenzată în ETZ, **58**, 48, 1937, p. 1296.
5. *Necesitatea reorganizării reţelei telegrafice.* Rev. PTT., **10**, 12, 1937, p. 121. Extr. Bucureşti, Marvan, 1937, 17 p.
6. *Teleimprimatoare,* (broşură), Ed. Vremea, 1937, 30 p.
7. *Teleimprimatoare în serviciul industriei româneşti,* Buletin. AGIR, **19**, 1937, p. 285—388. Extr. Bucureşti, Imprim. Naţ., 1937, 13 p.
8. *Contribuţiuni la reorganizarea reţelei telegrafice în România.* Buletin. IRE, **5**, 1937, p. 746—777 şi Colecţia publ. IRE, nr. 144, 34 p.
9. *Beiträge zur Berechnung der Kurzschlusserwärmung.* Disertaţie de Doctor-Inginer la Politehnica din Dresda, Bul. IRE, **5**, 2, 1937, p. 347—415 şi în colecţia de publicaţii IRE, nr. 120, 75 p. Recenzată în Elektrotehn. Z. (ETZ), **59**, 13, 1938, p. 346 şi Bul. ASE **31**, 1940, p. 235 şi în Elektrotehn. Berichte **5**, 1958, p. 386. Citată în R. Rüdenberg, Elektrische Schaltvorgänge Berlin, Springer, 1953, p. 576. F. Kesselring: Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Schaltgeräte, Berlin, W. de Gruyter, 1968, p. 155.
10. *Redresori de contact.* Cinci conferinţe 1935—1936 Bucureşti. Cercul electrotehnic. Secţia electrocomunicaţii, p. 35—74. Extr. Bucureşti, Ed. Vremea, 1937, 12 p.
11. *Über die Zündung von Glimmteilerröhren.* Elektrotechn. Z. (ETZ) **56**, 12, 1937, p. 343—346. Recenzată în Engineering Index, New-York, 1937, p. 1223.
12. *Telegrafia publică în timp de campanie.* Rev. Geniului, 12, 1938, p. 77—85.
13. *Über die Berechnung der Kurzschlusserwärmung.* Elektrotech. Z. (ETZ), **59**, 37, 1938, p. 985—988. Recenzată în Engineering Index, New-York, 1938, p. 367. Comentată în A. Roth: Hochspannungstechnik Springer — V., Wien, 1950, p. 456 şi de H. Schmidt în Elektrotechn. Z. (ETZ) A—**79**, 16, 1957, p. 569; citat de Morgan V.T. Proceedings of the IEE, **118**, 1971, p. 555.
14. *Rolul prescripţiunilor internaţionale pentru introducerea mărcii de calitate în România.* Bul. APDE, **7**, 7—8, 1938, p. 179—182.
15. *Über die Erwärmung punktförmiger Kontakte bei konstanter Strombelastung.* Arch. Elektrotechn. **33**, 4, 1939, p. 261—268. Recenzată în Engineering Index, New-York, 1939, I, p. 357, în Elektrotechn. Z (ETZ) **60**, 4, 1939, p. 460 şi în E.u.M. 1940, în Rieder CIGRE, Rap. 124, 1956, în R. Rüdenberg, Elektrische Schaltvorgänge, Berlin, Springer V., 1953, p. 576, în Electr. Engng. Japan, **87**, 1967, p. 12.
16. *Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Kupfer und Aluminium bis zum Schmelzpunkt.* Z. techn. Physik, 20, 1, 1939, p. 26—30. Recenzată în Elektrotechn. Z. (ETZ) **61**, 36, 1939, p. 1084.
17. *Temperaturabhängigkeit der wahren spezifischen Wärme von Leitungskupfer und Leitungsaluminium bis zum Schmelzpunkt.* Z. techn. Physik **20**, 7, 1939, p. 213—217. Cit. Proc. Inst. Electr. Engrs., **112**, 2, 1965, p. 326; în rev. Sci. Instr., **38**, 1967, p. 1452; citat de Cezairli A. în Journ. Res. Nat. Bur. Stand. Sect. A, 1970, A 74, p. 65, şi în Rev. Intern. des Hautes Temperatures et des Refractaires, 1970, 7, p. 215; citat de Buyco E.H. în Journ. Chem. Eng. Data, 15, 1970, p. 518.
18. *Consideraţiuni asupra anteproiectului de prescripţiuni oficiale româneşti relative la conductele electrice izolate şi neizolate.* Bul. APDE, **8**, 11—12, 1039, p. 204—207. (În colaborare cu ing. R. Comşa).
19. *Telecomunicaţiuni şi semalizări pentru apărarea pasivă.* Bul. AGIR, 21, 1939, p. 63—67.
20. *Importanţa cablurilor de telecomunicaţiuni în timp de campanie.* Rev. Geniului, **22**, 3, 1939, p. 43—54.
21. *Efectele termice ale curenţilor de scurt circuit în reţelele electrice.* Bul. IRE, **8**, 1940, p. 416—439 şi broşura nr. 223 din colecţia de publicaţii IRE. Recenzată în Elektrotechn. Berichte, **17**, 1941, 137.
22. *Influenţa preţului materialelor şi salariilor asupra costului energiei electrice.* Bul. APDE, **9**, 1—3, 1940, p. 17—26. Recenzată în Elektrotechn. Berichte, **16**, 1940, p. 73.
23. *O nouă sursă de lumină electrică: lămpile cu mercur luminiscente.* Bul. APDE, **9**, II, april.-iun. 1940, p. 52—64. Recenzată în Elektrotechn. Berichte, **16**, 1940, p. 325.
24. *Eine elektrische Methode zur Messung der wahren spezifischen Wärme von Metallen.* C.R. Acad. Sci. Roum., **6**, 1940, p. 355—358.
25. *Über die Zündung von Entladungslampen.* C.R. Acad. Sci. Roum., **4**, 5—6, 1940, p. 429—432.
26. *Über die Berechnung der Wärmewirkung von Ausgleich-und Uberströmen.* Arch. Elektrotechn., **35**, 6, 1941, p. 344—353. Recenzată în Elektrotech. Z. (ETZ), **62**, 1941, p. 740 şi în Elektrotechn. Berichte, 19, 1941, 291. Cit. V.T. Morgan, Proceedings I.E.E., **118**, 3/4, 1971, p. 555.
27. *Die Wärmewirkung der Schalt — und Stossströme.* ETZ, **62**, 26, 1941, p. 591—595. Recenzată în Elektrotechn. Berichte, **19**, 1941, p. 291.
28. *Erwärmungsberechnung elektrischer Kontakte. Physikalische Grundlagen und Behandlungsmethoden.* Bul. Sc. Politehnică, Buc., **12**, 1—2, 1941, p. 164—174. Recenz. în Elektrotechn. Berichte, **20**, 1942, p. 151.
29. *Propuneri relative la terminologia tarifelor de vînzare a energiei electrice. Proiect de nomenclatură tarifară.* Bul. APDE, **10**, I—II, ian.-iun., 1941, p. 4—10 (în colaborare cu ing. D. Ionescu), în Elektrotechn. Berichte, **20**, 1942, p. 87.
30. *Producerea şi distributia energiei electrice în Germania în anul* 1940. Bul. APDE, **10**, III—IV, iul.-dec., 1941, p. 55—60. Recenz. în Elektrotechn. Berichte, **20**, 1942, p. 288.
31. *Despre racordarea cuptoarelor electrice.* Bul. EPDE, **10**, III—IV, 1941, p. 86—93. Recenz. în Elektrotech. Berichte, **20**,1942, p. 409.
32. *Über die Änderung des elektrischen Widerstands-Temperatur-Koeffizienten von Kupfer und Aluminium bis zum Schmelzpunkt.* C.R. Acad. Sci. Roum., **5**, 1941, p. 163—168. Recenz. Elektrotechn. Berichte, **22**, 1942, p. 238.
33. *Über die spezifische Wärme von Kupfer bei hohen Temperaturen.* C.R. Acad. Sci. Roum., **5**, 4—6, 1941, p. 436—439.
34. *Asupra protecţiei selective a reţelelor buclate.* Bul. APDE, **11**, I, 1942, p. 40—46 (în colaborare cu ing. N. Nichiteanu).
35. *Centrale de vînt,* Bul. APDE, **11**. II, 1942, p. 103—113. (în colaborare cu ing. V. Ioan).
36. *Erwärmungsberechnung elektrischer Kontakte.* Differentialgleichung, Anfangs- und Randbedingungen. Bul. Politechn. Buc., **12**, 3/4, 1942, p. 423—439.
37. *Combustibilul atomic şi viitorul problemei energetice.* Bul. IRE, 10, 3/4, 1942, p. 707—722 şi broşura nr. 263 din colecţia de publicaţii IRE.
38. *Genaue Werte für die Erwärmungskurve der Kupfers und Aluminiums.* C.R. Acad. Sci. Roum., **6**, 1—4, 1942, p. 347—349.
39. *Rolul şi importanţa electrocăldurii.* Bul. IRE, **11**, 1—2, 1943, p. 147—160, Colecţia IRE, broşura nr. 277.

40. *Beiträge zur Erwärmungsberechnung elektrischer Leiter.* Habil. Diss. T.H. Dresden, 1943, Teză de docență (habilitare) la Politehnica din Dresda. Bul. IRE, **11**, 3/4, 1943, p. 301—412 și broșura IRE nr. 284, 112 p. Recenzată în Bull. ASE, **39**, 25, 1948, 851; în Arch. el. Übertragung, **4**, 3, 1950, p. 111 și în Elettrotecnica, **36**, 8 bis, 1948, p. 425. Cit. F. Moeller, Arch. Elektrotechn., **39**, 7, 1949, p. 442.
41. *Clasificarea decimală privind producția și distribuția energiei electrice.* Bul. APDE, **11**, III, 1942, p. 153—158 și **12**, I—II, 1943, p. 25—29.
42. *Organizarea raționalizării în Germania.* Economia Română, **25**, 11/12, 1943, p. 44—46.
43. *Motoare Diesel în centralele electrice.* Bul. APDE, **12**, III—IV, 1943, p. 73—92.
44. *On the heating limit of electric line conductors.* C.R. Acad. Sci. Roum., **7**, 1943—1945, p. 379—382.
45. *Redactarea unitară a articolelor tehnico-științifice.* Bul. Centr. Rom. Document., **4**, 1/4, 1943, p. 3—10.
46. *Aparatul telegrafic Hell.* Bul. Soc. Politehnice, 58, 1/2, 1944, p. 96—115.
47. *Din problemele teoretice ale transmisiilor electrice.* În: Bibl. Techn. și Energie, nr. 12, 1946, p. 271—311.
48. *Sur un problème de théorie analytique de la chaleur.* C.R. Acad. Sci. Roum., **7**, 1946—1947, p. 179—183.
49. *Documentația în domeniul electrotehnicii în rezumate scurte aplicate pe fișe.* (în colaborare cu M. Bercovici), Rev. techn. AGIR, Electricitatea, **2**, 1, 1948, p. 37—39.
50. *Clasificarea redresorilor după debit.* Rev. tech. AGIR — Electricitatea, **2**, 2, 1948, p. 67—76 și 3, 1948, p. 135—142.
51. *Construcția și utilizarea nomogramelor.* Bul. Soc. Politehn. **61**, 4/6, 1948, p. 89—134.
52. *Prescripții pentru siguranța personalului care lucrează la instalații electrice.* Bul. Inst. naț. cercet. technolog., **3**, 2, 1948, p. 263—273.
53. *Cercetări sovietice în domeniul sudurii cu arc.* (conf. Inst. de Studii Rom. Sov., **18**, 3, 1949) Rev. Tehn. AGIR — Electricitatea, **3**, 4, 1949, p. 225—231.
54. *Calculul grafic al curenților de scurt circuit.* Rev. Techn. AGIR — Electricitatea, **2**, 5, 1948, p. 268—280, și **3**, 1, 1949, p. 17—30 (în colaborare cu ing. P. Militaru).
55. *Organizarea documentației pe fișe.* Bul. Document. Techn. IDT, **1**, 1—2, 1949, p. 7—16.
56. *Considerații tehnice asupra construcției de întreruptori de înaltă tensiune cu aer comprimat.* Electricitatea, **1**, 1, 1950, p. 11—14 (în colaborare cu I.V. Sîngeorgiu, C. Steinberg, I. Voronca și O. Smigelschi).
57. *Metode pentru calculul curenților de scurt circuit.* Electricitatea, **3**, 1—2, 1952, p. 50—53 (în colaborare cu S. Săndulescu).
58. *Principiile protecției contra supratensiunilor atmosferice.* Electricitatea, **3**, 4—5, 1952, 10—17.
59. *Efectul pelicular tranzitoriu.* Bul. științ. Acad. R.P.R., Secția **3**, 4, 3—4, 1952, p. 225—239. Trad. magh. Magy. Tudom. Akad. M.T.O. Közlem., **12**, 1—3, 1955, p. 56—73. Trad. engl. Transient skin effect. Rev. Electrotechn Energ., **1**, 1956, 1, p. 75—88. Cit. Bull. Acad. Pol. Sci. S. Sci. Techn., **15**, 1965, p. 333.
60. *Constanta de timp a fenomenelor tranzitorii.* Bul. științ. Acad. R.P.R., Secția 3, **4**, 3—4, 1952, p. 241—248, trad. magh. Magy. Tudom. Akad. M.T.O. Közlem. 12, 1—3, 1958, p. 157—164. Trad. germ. I. Intern-Kolloqu. Hochsch. Elektrotechn. Ilmenau, 1956, p. 134—137, trad. engl. The time constant of Transient Phenomena. R. Electrotechn. Energ., **1**, 1, 1956, p. 7—13.
61. *Încălzirea staționară a contactelor liniforme.* Com. Acad. R.P.R., **2**, 11—12, 1952, p. 745—754.
62. *Posibilitățile calculului de dimensionare termică a siguranțelor fuzibile.* Electrotehnica, **1**, 6, 1953, p. 23—33.
63. *Calculul încălzirii staționare a contactelor electrice.* Electrotehnica, **1**, 9, 1952, p. 25—35.
64. *Încălzirea la scurt circuit a conductorilor de aluminiu.* Studii și cercetări de energetică, **3**, 1953, p. 127—185, (în colaborare cu S. Mastero).
65. *Repartizarea optimă pe unități energetice interconectate.* Energetica, **1**, 12, 1955, p. 14—24 (în colaborare cu N. Decuseară).
66. *Contribuție la calculul încălzirii tranzitorii a conductelor electrice punctiforme.* Bul. științ. Acad. R.P.R. Secția **3**, 6, 1—4, 1954, p. 101—108.
67. *Contribuții la calculul răcirii blocurilor de beton.* Bul. științ. Acad. R.P.R. Secția 3, **6**, 2, 1954, p. 407—422.
68. *Influența viscolului asupra rețelelor electrice.* Energetica, **2**, 3, 1954, p. 109—115.
69. *Încălzirea rezistențelor din fontă.* Com. Acad. R.P.R., **4**, 5—6, 1954, p. 251—259.
70. *Rolul și avantajele fuzibilelor cu întîrziere.* Energetica și Hidrotehnica, **2**, 11—12, 1954, p. 407—415 (în colaborare cu T. Cănescu).
71. *Încălzirea unor bobine cilindrice speciale* .Com. Acad. R.P.R., **5**, 1, 1955, p. 145—157.
72. *Contribuții la calculul încălzirii tranzitorii a siguranțelor fuzibile.* Com. Acad. R.P.R., **5**, 4, 1955, p. 697—708.
73. *Calculul încălzirii unui conductor neomogen format din două porțiuni diferite.* Studii și cercetări de energetică, **5**, 1—2, 1955, p. 191—199 (în colaborare cu A. Iacob).
74. *Încălzirea adiabatică a conductorilor din cupru, aluminiu și argint.* Studii și cercetări de Energetică, **5**, 1955, 3—4, p. 477—487. Trad. limba germană, Rev. Electrotehnica Energ., **2**, 1, 1957, p. 5—15.
75. *Calculul filamentelor lămpilor de foarte joasă tensiune.* Com. Acad. R.P.R., **5**, 11, 1955, p. 1613—1624. Trad. limba engleză, Rev. Electroteh. Energ., **3**, 1. 1958, p. 5—16.
76. *Calculul circuitelor cu electromagneți și lămpi subtensionate.* Electrotehnica, **4**, 1, 1956, p. 7—15.
77. *Probleme actuale privind magneții permanenți.* Electrotehnica, **4**, 9, 1956, p. 389—394 (în colaborare cu A. Cedighian).
78. *Manualul inginerului electrician.* Vol. IV. Aparate electrice. Ed. Tehnică Buc., 1956.
79. *Noi contribuții la problema calculului temperaturii în blocuri de beton.* Studii și cercetări de fizică, **7**, 2, 1956 p. 259—275 (în colaborare cu I. Weinreb.)
80. *Reprezentarea analitică a undelor de impuls.* Bul. științ. Inst. Politehnic, Buc., **18**, 1—2, 1956, p. 65—115 (în colaborare cu Fl. Stănciulescu).
81. *Rezistențe tubulare tip plonjor pentru aparate electrotermice.* Electrotehnica, **5**, 1, 1957, p. 4—13.
82. *O nouă contribuție la calculul efectului pelicular tranzitoriu.* Com. Acad. R.P.R., **1**, 7, 1957, p. 65—72, trad. l. engl. Rev. Electrotehn. Energ., **2**, 2, 1957, p. 213—219.
83. *Relații între funcțiile proprii ale problemelor la limită.* Com. Congr. IV. Matem. Buc., 1956.
84. *Instalație de încercarea magneților permanenți.* Broșură litogr. Congres. Electricieni nr. 24. 2 OPED, Buc. 1957 (în colaborare cu C. Popescu și D. Mehedinți).
85. *Contribuții la calculul exact al încălzirii la scurt-circuit* Com. Acad. R.P.R., **7**, 2, 1957, p. 169—174. Trad. limba engl. Rev. Electrotehn. Energ., **3**, 1958, 2, p. 213—217.
86. *Conductoare din oțel-aluminiu în rețele rurale.* Electrotehnica, **5**, 2, 1957, p. 37—42.
87. *Noi tipuri de conductoare din oțel-aluminiu pentru distribuții rurale.* Studii Cercet. Energet., **7**, 2, 1957, p. 261—277.
88. *A vezetők zárlati melegedésének számításárol.* Elektrotechnika Budapest, **50**, 10—12, 1957, p. 392—400.
89. *Constanta de timp a efectului pelicular în conductoare cilindrice și tubulare.* Com. Acad. R.P.R., **8**, 3, 1958, p. 295—304.
90. *Corespondența între fenomenul tranzitoriu și staționar al efectului pelicular.* Com. Acad. R.P.R., **8**, 5, 1958, p. 473—478. Trad. l. engl. Rev. Electrotechn. Energ., **4**, 1, 1959, p. 33—38.
91. *Contribuții la calculul lămpilor de foarte joasă tensiune.* Electrotehnica, **6**, 9, 1958, p. 328—341.

92. *Probleme de difuziune tratate ca procese de transmisie.* Com. Acad. R.P.R., **8**, 12, 1958, p. 1331—1341. Trad. l. engl. Rev. Electrotehn. Energ., **4**, 12, 1959, p. 237—245.
93. *Metodă practică de dimensionare a lămpilor de foarte joasă tensiune.* Electrotehnica, 6, 10, 1958, p. 375—387.
94. *Über die Zeitkonstante des Skineffektes. Elektrotechn.* Z. (ETZ)—A), 80, 3, 1959, p. 78—82.
95. *Terminologie și definiții în automatizare.* A.2 Consf. Naț. Automat. Ind. Ed. Acad. Buc., Standardizarea, 12, 3, 1960, p. 105—108.
96. *Efectul de amortizare a curenților turbionari tranzitorii în miezuri magnetice.* Com. Acad. R.P.R., 2, 4, 1959, p. 337—347. Trad. l. franceză. Rev. Electrotechn. Energet., 5, 2, 1960, p. 271—280.
97. *Caracterizarea fenomenelor de difuziune în sisteme închise cu ajutorul constantei de timp.* Com. Acad. R.P.R., **2**, 5. 1959, p. 433—443 Trad. l. germ. Rev. Electrotechnique Energ., **5**, 1, 1960.
98. *Solicitările echipamentului stațiilor de foarte înaltă tensiune.* Electrotehnica, **7**, 1959 12, p. 418—427.
99. *Calculul încălzirii barelor în contact frontal prin curent electric.* Com. Acad. R.P.R., **10**, 2, 1960, p. 101—109.
100. *Introducere în documentarea științifică.* Ed. Acad. R.P.R. Buc., 1960, 450 p. (în colaborare cu V. Cîndea).
101. *Criterii tehnico-economice pentru construcția echipamentului de foarte înaltă tensiune.* Electrotehnica, **8**, 1, 1960, p. 2—10.
102. *Contribuții la calculul încălzirii contactelor electrice plane finite.* Studii și cercet. Energetice, **10**, 1, 1960, p. 111—125. Trad. l. germ. Rev. Electrotehnique Energ. **6**, 1, 1961, p. 5—24. Cit. IEEE. Tr. **83**, II, 1, 1964—1965.
103. *Pentru o interpretare materialist-dialectică a noțiunilor fundamentale ale electricității.* (În vol. 50, an. V.I. Lenin : Materialism și empiriocriticism). Ed. Acad. R.P.R., Buc., 1960 p. 87—98.
104. *Oportunitatea recurgerii la mașini de calcul în probleme de electrotehnică.* Electrotehnica, **8**, 4, 1960, p. 109—116. Probleme de automatizare, II, Buc. Ed. Acad.
105. *Cercetarea și documentarea științifică.* Studii și cercet. de doc. și bibliol., **3**, 1960, p. 37—46.
106. *Avantajele utilizării nomogramelor în electrotehnică.* Electrotehnica, **8**, 7, 1960, p. 254—258, 7 fig., 10 ref.
107. *Pentru o utilizare mai largă a unităților magnetice practice.* Com. la I Consf. pe țară : Materiale electr. ASIT—IPT, Timișoara, 06.09.04.60, p. 13—23
108. *Noi criterii pentru caracterizarea comportării la transfer a sistemelor automate.* Sesiune asupra problemelor teoretice și practice priv. automatizările industriale. București 13, oct. 1960 (în colaborare cu M. Leon). Probleme de automatizare III, București, Ed. Acad. R.P.R., 1961, p. 5—24.
109. *Materiale pentru contacte de întrerupere rezistente la uzură* (în colaborare cu I. Barbu și C. Fugaru). Electrotehnica, 8, 12, 1960, p. 426—436.
110. *Surse moderne de lumină. Fenomenele tipice din lămpile fluorescente* (în colaborare cu M. Macrin). Electrotehnica, **9**, 9, 1961, p. 301—310.
111. *Un nou criteriu integral cumulativ de optimizarea sistemelor automate.* Com. Acad. R.P.R., **11**, 10, 1961, 1181—1193. Trad. l. germ. Rev. Electrotechnique Energ. S.A., **7**, 1, 1962, p. 155—165.
112. *Zona de transport în problemele dimensionării filtrelor electrice.* (în colaborare cu R. Răduleț). Studii și cerc. Energ. S.A., **11**, 1, 1962, p. 47—82.
113. *Asupra amortizării undelor de impuls la încercarea transformatoarelor* (Prez. Inst. Energ. 23.11.61) Studii Cerc. Energ. P.A., **12**, 1, 1962, p. 145—162. Trad. l. franceză Rev. Electrotechn. Energ., **7**, 2, 1962, p. 267—176.
114. *Asupra criteriilor integrale pătratice de optimizare a sistemelor automate.* Com. Consf. automat. industr. 27.11.61. Probleme de automatizare IV. Ed. Acad. R.P.R., Buc., 1962, p. 3—8.
115. *Un nou criteriu integral pătratic de optimizare a sistemelor automate* (Com. Sect. III, Acad. R.P.R., 4 dec. 1961). Com. Acad. R.P.R., **12**, 3, 1962, p. 303—310. Trad. l. germ. Rev. Electrotechn. Energ. S.A., **7**, 1, 1962, p. 155—165.
116. *Performanțele și aplicațiile industriale ale redresoarelor de putere cu semiconductoare.* Electrotehnica, **10**, 2—3, 1962, p. 95—108.
117. *Performanțele celulelor redresoare cu semiconductori* Studii Cercet. Energ. S.A., **12**, 2, 1962, p. 299—322.
118. *Protecția rezervoarelor de produse petroliere contra pericolului de aprindere datorită trăznetului și sarcinilor statistice.* Rev. ASIT Petrol și Gaze, **13**, 2, 1962, p. 82—89 (în colaborare cu G. Drăgan și B. Popa).
119. *Oglindirea recomandărilor CEI în standardele românești în domeniul tehnicii înaltelor tensiuni.* Standardizarea, **14**, 6—7, 1962, p. 325—332.
120. *Cea de a XXVIII-a reuniune generală a Comisiei Electrotehnice Internaționale* (în colaborare cu R. Răduleț și Gh. Hortopan). Electrotehnica, **10**, 9, sept. 1962, p. 325—334.
121. *Izolația stațiilor de înaltă tensiune în lumina normelor naționale a recomandărilor CEI și a unor experimentări efectuate pe izolatoare.* (în colaborare cu C. Drăgan, I. Adămuț și B. Popa). Electrotehnica, **10**, 9, sept. 1962, p. 335—347.
122. *Progresele și perspectivele industriei electrotehnice și electroenergetice în URSS* (în colaborare cu Fl. Tănăsescu). Electrotehnica, **10**, 11, nov. 1962, p. 401—408.
123. *Comentarii privind proiectul de standard. Încercarea echipamentului electric la înaltă tensiune.* În Standardizarea, 14, 11, 1962, p. 574—578.
124. *Contribuții la caracterizarea comportării dinamice a sistemelor automate și de măsură.* Com. Sesiunii în domeniul automatizării, 8—9 nov. Probleme de automatizare V. Edit. Acad. R.P.R., Buc., 1963, p. 17—28.
125. *Caracterizarea desfășurării fenomenelor tranzitorii cu ajutorul unor funcții integrale de timp.* Sed. Secția III-a Academiei R.P.R., din 12 nov. 1962. Comunic. Acad. R.P.R., **13**, 3, 1962, p. 259—265.
126. *Timpul de încălzire a barelor cilindrice profilate.* Com. Ses. Com. Științ. Inst. Energ. Studii Cerc. Energ. S.A., **13**, 3, 1963, p. 367—376.
127. *Timpul de difuziune în axa profilelor pătrate și dreptunghiulare.* Com. Sec. III Acad. R.P.R., **10**, 7, 1963; Studii Cerc. Energ. Electrotehn., **14**, 1, 1964, p. 299—212.
128. *Activitatea de cercetare, factor important în ridicarea nivelului tehnic al industriei electrotehnice.* Electrotehnica, **12**, 1—2, 1964, p. 15—26.
129. *Progrese tehnice în construcția aparatelor de conectare de joasă tensiune.* Electrotehnica, **12**, 3, 1964, p. 81—91.
130. *Studiul supratensiunilor ce apar la declanșarea liniilor în gol cu ajutorul calculatoarelor analogice* (în colaborare cu Gh. Drăgan, I. Adămuț și M. Petu). Studii, cerc. Energ. Electroteh., **14**, nr. 2, 1964, p. 319—336; în l. engl. în Rev Roum. Sci. techn. S.A. Electrotechn. Energet., **9**, 3, 1964, p. 331—339.
131. *Sisteme de clasificare în domeniul automaticii.* (în colaborare cu C. Comorovschi, E. Roman). Studii Cerc. Doc. și Bibliol., **6**, 1, 1964, p. 7—15; Rev. Nachricht. Dokum., **16**, 1965, 27 p.
132. *Preocupări științifice în caietele fiziografice.* Luceafărul, **7**, 12, 6 iunie 1964, p. 5 (numărul festiv Eminescu).
133. *Contribuții românești în compensarea energiei reactive. și deformante.* Electrotehnica, **12**, 6, 1964, p. 201—205
134. *Centrul de documentare științifică al Academiei R.S. România la începutul activității sale* (în colaborare cu P. Atanasiu). Studii și cerc. doc. și bibliol., **8**, 3, 1964, p. 249—259).
135. *Contribuții la aprecierea sintetică a fenomenelor tranzitorii.* Electrotehnica, **13**, 4, april. 1965, p. 121—128.
136. *Rolul progreselor științei în construcția socialismului.* Progresele științei, **1**, 1, ian.-febr. 1965, p. 3—5; Progresele științei în slujba dezvoltării economiei și culturii noastre în anii 1966—1970. Ibidem, **1**, 3, iun.-iul., 1965—66;
Perspective noi pentru progresul științei în patria noastră Ibidem, **1**, 4 aug.-sept. 1965, p. 97—98.
137. *Încercări la uzură ale contactelor de contactoare* (în colaborare cu Barbu I). Electrotehnica, **13**, 5, mai 1965, p. 177—186.

138. *Documentarea în științele sociale.* Călăuza Bibliotecarului, **18**, 10, oct. 1965, p. 577—579.
139. *Current information publications.* Considerations on the experience of the Scientific Documentation Center of the Rumanian Academy, Com. Congres FID, Washington, 10—16 oct. 1965.
140. *Die Invarianten ausgleichender Vorgänge.* Rev. Roum. Sci. Techn. Electrotehn. Energ., **10**, 2, 1965, p. 201—215.
141. *Poporul român, popor cu un dezvoltat spirit inventiv.* Munca politică în forțele armate ale Republicii Socialiste România, **20**, 12, 1965, p. 72—80.
142. *Definirea timpului de răspuns al sistemelor amortizat-oscilante.* A 5-a Sesiune de comunicări tehnico-științifice ICPR, dec., 1965. Vezi și Electrotehnica, **14**, 12, dec. 1966, p. 431—436.
143. *Importanța creierii Consiliului Național al Cercetării Științifice.* Progresele științei, **2**, 4 april. 1966, p. 113—116.
144. *Problemele descărcărilor parțiale în transformatoare* (în colaborare cu C. Popescu). Electrotehnica, **14**, 5, mai 1966, p. 149—155.
145, *Problemele tensiunii limită ale transmisiei electroenergetice.* Electrotehnica, **14**, 8, aug. 1966, p. 265—270.
146. *Metodă și aparatură de măsurare a descărcărilor parțiale în transformatoare* (în colaborare cu C. Popescu și M. Andreiescu). Electrotehnica, **14**, 11, nov. 1966, p. 381—393.
147. *Möglichkeiten einer Wertzuordung an Wissenschaftliche Veröffentlichungen.* XI. Inter. wiss. Koll. T.H. Ilmenau oct. 1966 in : Dokumentation/Information. T.H. Ilmenau 1966, p. 35—47.
148. *Erfahrungen bei der Herausgabe und Bewertung rumänischer Titellisten und Referatezeitschriften.* ZIID, Z. Berlin, **13**, 6, Dez. 1966, p. 171—173.
149. *Centenarul Academiei Republicii Socialiste România și dezvoltarea documentării în România în ultimii 100 de ani.* Studii cerc. doc. bibliol., **8**, 3, 1966, p. 287—292.
150. *Relații de similitudine ale descărcărilor parțiale în alveole din izolanți solizi.* Electrotehnica, **15**, 4, aprilie 1967, p. 117—122.
151. *Colaborarea dintre Biblioteca Academiei și Centrul de documentare științifică.* Studii cerc. doc. bibliol., **9**, 2—3, 1967, p. 169—172.
152. *Stabilirea comportării optimale pe baza funcției de transfer.* Com. ses. com. tehn. științ. Com. Autom. Acad. 17 octombrie 1967. Probleme de automatizare VII, p. 15—25, București, Edit. Acad. R.S. România, 1968.
153. *Spre noi concepții în industria electrotehnică.* Electrotehnica, **16**, 1, ian. 1968, p. 1—2
154. *Legi de similitudine ale descărcărilor între pereți izolanți în aer.* Electrotehnica, **16**, 5, mai 1968, p. 161—166.
155, *Tendințe în automatizarea informării și documentării științifice.* Studii cerc. calcul econ. Cibern. econ., **2**, 1968, p. 5—18.
156. *Criterii statistice în alegerea izolației instalațiilor electroenergetice de înaltă tensiune* (în colab. cu G. Drăgan și M. Petcu).
157. *Către prelucrarea cu calculatoare electronice a informațiilor documentare.* Com. VI. Consf. științ. Dir. Centr. Statist. 24, ian. 1968, Studii de statistică, București DCS. 1969, p. XXXI—XXXIV.
158. *Contribuții la optimizarea sistemelor de prelucrare a informațiilor.* Com. ses. științ. cerc. Calc. econ. și Cibern., Econ. 25.5.68. Studii Cercet. Calcul Econ. Cibern. Econ., **4**, 1970.
159. *Creșterea eficienței informării științifice-tehnice în cercetarea științifică* (l. rusă) CNCS, Com. XII, pentru CAER. Studii cerc. Doc., **11**, 4, 1968, p. 429—442.
160. *Efficiency evalution of information retrieval systems.* Com. Congres FID Moscova, sept. 1968, International Forum on Informatics. Moscow, VINITI, 1969, V.I., p. 628—656.
161. *Integral parameters for the identification and optimization of linear systems.* Paper pres. to IV. IFAC Congress. Warszawa 1969 (în colaborare cu M. Cehan Racoviță). Preprint.
162. *Contribuții la calculul eficienței economice a sistemelor de regăsire a informațiilor.* Com. Simpozionul Aplicațiile sistemului informațional în economie. 15—21 oct. 1968, vineri 18.10.1968. Preprint, Buc. CDS, 1969. Studii cerc. documentare, **5**, 3, 1970, p. 197—203.
163. *Acoperirea unui domeniu prin descriptori.* Studii și cerc. de documentare, **11**, 1, 1969, p. 3—22.
164. *Integralnîie kumuliativnîie kriterii optimalnîi avtomaticeskih linearizîruemîh sistem.* Preprint l. rusă, 13, p. 25, ec. 19 ref. bibl.
165. *Condiții impuse limbajelor informaționale.* Preprint CDS 1969, 26 p., 4 fig. 10 ref., Studii și cerc. de documentare, **11**, 4, 1969, 285—305.
166. *Study of the behaviour of high voltage lines under the action of overvoltages on the basis of the theory of probability.* Rev. roum. Sci. techn, Electrotechn. Energ., **14**, 4, 1969, p. 605—621 (în colaborare cu G. Drăgan).
167. *Model geometric pentru alegerea nivelelor ierarhice ale descriptorilor.* Com. FID/RI Com. Moscova 24—27 febr. 1970. Studii cerc. documentare, **12**, 2, 1970, p. 107—117.
168. *Pronosticarea influenței cercetărilor fundamentale asupra dezvoltării economice și sociale* (l. rusă). Simpozion CAER. Problemele metodologice ale prognozei dezvoltării științei și tehnicii. Moscova, 23—27 martie 1970.
169. *Aprecierea globală a refulării cîmpului electromagnetic și termic în conductoare masive.* A II-a Conferință a electricienilor S. VII. București, 23—26 sept. 1969, Electrotehnica, **18**, 9, 1970.
170. *Eindringszeit des elektromagnetischen und des Wärmefeldes in Leiter.* Elektrotechn. Z (ETZ—A) **91**, 4 apr. 1970, p. 235—238, 4 fig. 14 ref.
171. *Pronosticarea cercetărilor științifice în folosul dezvoltării economice și sociale.* Progresele științei, **6**, 6, 1970, p. 241—247, 23 ref.
172. *Metode de pronosticare explorative.* Progresele științei, **6**, 8, 1970, p. 337—345.
173. *Le projet d'un système mondial d'information scientifique.* Bul. Com. nat. R.S. România pt. UNESCO, **12**, 2, 1970. Spre un sistem mondial de informare științifică și tehnică. Studii cerc. documentare, **12**, 2, 1970, p. 145—150. Principiile de organizare ale unui sistem mondial de informare. Preprint. Rev. Biblioteci, **1**, 1, 1970. Organizarea unui sistem mondial de informare științifică. Progresele științei, **6**, 5, 1970, p. 219—220.
174. *Information needs of smaller European countries.* Com. Confer. Societății americane pentru știința informării. Philadelphia, Penn. 15—18 octombrie 1970.
175. *Probabilistic criteria for the objective desing of descriptor languages. Meeting American Society for Information Science.* Philadelphia 15—18 oct. 1970. J. Amer Soc. Inform. Sci., **22**, 2, mart.-apr. 1971, p. 85—95.
176. *Rolul frecvenței descriptorilor.* Studii cerc. docum., **13**, 2, iun 1971, p. 105—121.
177. *Cercetări în informatica documentară.* Studii cerc. doc. **13**, 3, sept. 1971, p. 203—211 (în colaborare cu Atanasiu P., Lăzăreascu G.)
178. *Cercetări multidisciplinare în informatica documentară.* Sesiunea Știința interdisciplinară și multidisciplinară. Analele Acad. R.S. România.
179. *Modelarea dinamică integrală a sistemelor economice.*
180. *Analiza practică a frecvenței descriptorilor.* Studii cerc. doc., **13**, 4, dec. 1971, p. 299—316.
181. *Rolul entropiei și energiei informaționale.* Studii cerc doc., **14**, 1, mart. 1972, p. 3—20.
182. *Metode de automatizare a culegerii și tratării informației.* Sesiunea științifică a Academiei R.S. România „Metode noi și probleme de perspectivă ale cercetării științifice" 1969—1970. Edit. Acad. R.S.R., p. 47—58.
183. *Relații între parametrii sistemelor informaționale coordonate.* Studii cerc. doc., **14**, 2, iunie 1972, p. 111—126.
184. *Distribuția log-normală a indexărilor.* Studii și cerc. doc., **14**, 3, sept. 1972, 6 fig., 38 ec., 4 an., 16 ref.
185. *Forecasting of integrated economic systems.* Com. Simpozion : „Cercetarea viitorului și planificare pe termen lung". Piatra-Neamț, 6—10 iulie 1971.

186. *Influenţa uzurii morale asupra evoluţiei în perspectivă a sistemelor tehnico-economice.* Conferinţa mondială „Cercetarea viitorului", Bucureşti 3—10 sept. 1972.
187. *Prospectivarea evoluţiei performanţelor globale ale unor sisteme economice, pe baza reînnoirii proceselor componente.* Progresele ştiinţei 8, 1972.
188. *Aproximarea distribuţiilor log-normale a descriptorilor.* Studii şi cerc. doc., **14**, 4, dec. 1972.
189. *Repartiţia profesiunilor în metalurgie şi în construcţii de maşini.* Com. Reuniunea internaţ. a Confederaţiei sindic. europene în metalurgie şi construcţii de maşini. Bucureşti 20—22 sept. 1972.

REALIZĂRI ALE INDUSTRIEI ROMÂNEŞTI

Inovaţii

Elemenţi de rezistenţă din grafit pentru reostatul de pornire a electrocarelor

Folosirea electrocarelor procurate din import, la întreaga lor capacitate, devine, practic, imposibilă, datorită greutăţilor întîmpinate la procurarea pieselor de schimb.

În cadrul uzinei „Electroputere" din Craiova multe din electrocarele de fabricaţie poloneză sau bulgară staţionau din cauza uzurii prea avansate a reostatului de pornire care nu se mai putea folosi. Pentru repararea acestui produs era necesar un număr mare de elemenţi de rezistenţă care trebuiau procuraţi tot din import.

Inovatorul Banică Constantin a studiat şi experimentat cu bune rezultate execuţia elementelor din grafit, folosind capetele inutilizabile ce rămîneau de la grafitul întrebuinţat ca electrozi la cuptoarele electrice, făcînd posibilă astfel economia de grafit. Acestor resturi, autorul le-a găsit întrebuinţarea prelucrîndu-le la strung. El a executat plăcuţele inelare din care se compune reostatul, sau a completat setul de plăcuţe ce vin din import şi care, datorită condiţiilor de transport sosesc gata sparte, dat fiind faptul că sînt foarte subţiri şi foarte fragile, ne mai putînd fi întrebuinţate.

Aplicarea inovaţiei prezintă o serie de avantaje evidente ca: asigurarea funcţionării electrocarelor, eliminîndu-se staţionările din cauza acestor elemenţi de siguranţă; renunţarea totală sau parţială la importarea acestor elemenţi; executarea lor cu uşurinţă la orice atelier dotat cu strunguri; valorificarea deşeurilor de grafit.

Din punct de vedere tehnic realizarea reostatului de pornire a electrocarelor cu aceste plăcuţe care sînt montate pachet într-o cuvă plină cu ulei prevăzută cu radiatoare de răcire. În stare de repaus, elementii astfel confecţionaţi prezintă o mare rezistenţă şi micşorează tensiunea ce se aplică rotorului motorului în timpul apăsării pe pedala de acceleraţie (un dispozitiv apasă pe pachetul de plăci, îndepărtînd uleiul dintre ele şi micşorînd rezistenţa chimică a întregului pachet), din aceasta rezultînd o creştere a tensiunii aplicate electrocarului şi implicit creşterea turaţiei, ceea ce măreşte viteza de deplasare a electrocarului.

C.A.

Modificarea schemei de izolaţie la bobinele ML2—11SI ML2—13 de la motorul LJE108 1.

În vechiul sistem, bobinele pol principal şi pol auxiliar de la motorul LJE 108/1 se executau în felul următor:

La început se izola conductorul cu bandă „Samica" de 0,17 × 20 prin trei înfăşurări la 1/2 suprapus, apoi peste aceasta se izola cu bandă de sticlă de 0,27 × 25. Urma presarea bobinelor în dispozitive şi coacerea în cuptor, în vederea rigidizării izolaţiei, timp de 12—16 ore, la o temperatură de 165°C. După scoaterea din dispozitiv se impregna cu lac SIB 755.

Din cauza unei rigidizări neomogene a izolaţiei, prin folosirea dispozitivelor metalice, care nu permiteau o aşezare perfectă a bobinei pe întreaga ei suprafaţă, nu se putea realiza corp comun şi omogen între izolaţia exterioară a bobinei şi bobina propriu-zisă, fapt care conducea în final la absorbţia de apă a bobinei, ceea ce provoca încălziri suplimentare ale motorului.

În sistemul nou, propus de inovatorul Săftoiu Petre de la uzina „Electroputere" — Craiova, se modifică schema de izolaţie a bobinelor, fapt ce conduce la reducerea numărului de SDV-uri.

Procedeul în cadrul noului sistem constă din următoarele: (fig. 1.) se izolează bobina (1) cu 2 × 1/2 suprapus bandă „Samica"(2) de 0,17 × 20,1 × 1/2 suprapus bandă „Samicaflex" Si (3) de 0,15 × 20 cu proprietăţi impermeabile, făcînd din clasa de izolaţie „H".

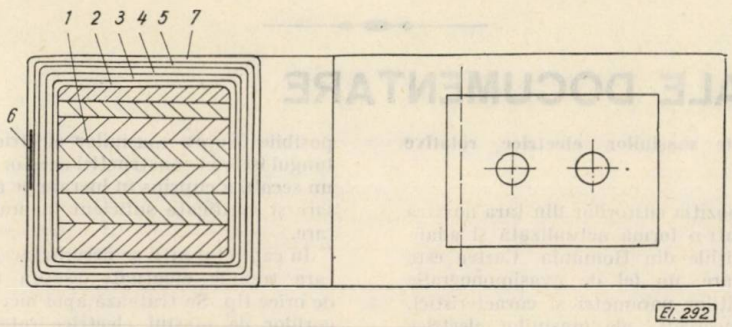


Fig. 1

Se înfăşoară apoi 1 × 1/2 suprapus, bandă de sticlă (4) de 0,27 × 25 şi se îmbracă bobina într-o manta de celofan (5) ermetizîndu-se cu bandă adezivă (6) de jur împrejur. Ultima izolare fiind 1 × 1/8 suprapus cu bandă groasă de bumbac (7), protejîndu-se ieşirile, pe porţiunile de contact, cu pungi formate din pînză de bumbac şi folie de celofan.

Bobina astfel izolată se introduce în autoclava de compoundare, în care se face vid. Bobina este scufundată complet în masa de compound bituminos, încălzită la 130°C, apoi se exercită asupra masei de compound o presiune cu menținerea temperaturii respective timp de 10—12 ore, timp în care se polimerizează izolația.

După polimerizarea izolației bobinele se mențin în autoclavă, pentru scurgere, timp de 6 ore. Cu această ocazie se deschide robinetul de evacuare a masei de compound, apoi se întrerupe presiunea.

Bobinele, în stare caldă, se desbracă de mantaua de celofan (5) și cu această ocazie se înlătură și banda groasă de bumbac (7), cu ajutorul unui cuțit cu care se spintecă izolația de jur împrejur (5—7), lăsînd bobina liberă.

Se impregnează apoi bobina cu lac SIB 755 prin scufundare o singură dată, cu scopul de a se mări rezistența mecanică a benzii de sticlă (4), care nu trebuie să se deterioreze în timpul depozitării și al transportărilor pînă la locul de montare pe mașină.

Încercările acestor bobine prin introducerea lor în apă timp de 6—7 luni, a condus la concluzia că absorbția de apă este minimă și deci, rezistența bobinelor nu scade prin acest procedeu.

De la introducerea acestui procedeu au dispărut complet străpungerile, iar temperatura de sarcină a mașinii a scăzut cu circa 30°.

C.A.

Aparat pentru controlul funcționării mașinilor și motoarelor

Aparatul care face obiectul inovației servește pentru controlul funcționării diverselor organe ale mașinilor-unelte, compresoarelor, etc.

Înainte de introducerea inovației controlul se făcea prin simpla ascultare a modului de funcționare. Acest procedeu nu era destul de eficient din cauză că unele defecțiuni nu se auzeau cu urechea liberă, fapt ce atrăgea după sine uzura în continuare a piesei respective care, nefiind schimbată la timp, uza și alte organe ale mașinii, ridicînd în felul acesta prețul de cost al reparației precum și perioada de inactivitate prin scoaterea din producție a mașinii respective pe un timpmai îndelungat.

Inovatorul Kiss Iosif lucrînd în cadrul secției de compresoare a Uzinei de vagoane Arad și fiind nemulțumit de întreruperea din funcționare a unui compresor din cauza defecțiunii unui organ oarecare, a construit aparatul descris mai jos.

Aparatul pentru controlul funcționării mașinilor și motoarelor se compune dintr-o cască de 2000 ohmi, un transformator de telefon, un microfon de telefon, un întrerupător și sursa de alimentare compusă dintr-o baterie pentru lanterne de buzunar. Întreg ansamblul de piese este montat într-o cutie din material plastic.

După cum se vede din schița alăturată microfonul și sursa de alimentare sînt montate în serie pe bobina primară a transformatorului. Casca este montată pe bobina secundară a transformatorului. Întrerupătorul servește la scoaterea din circuit a sursei de alimentare, atunci cînd aparatul nu funcționează.

Funcționarea aparatului se face acționînd asupra întrerupătorului. Microfonul se așează pe organul mașinii-unelte pe care dorim să-l controlăm. Microfonul captează zgomotul produs de organul respectiv și-l amplifică în cască. De exemplu, un rulment defect a cărui bătaie nu este perceptibilă cu urechea liberă, în casca aparatului se aude foarte puternic.

Prin introducerea inovației se realizează următoarele avantaje: se descoperă prematur unele defecțiuni, înlăturînd în felul acesta și defectarea altor organe; se reduce prețul de cost al reparațiilor și timpul pentru scoaterea mașinilor din producție; aparatul este simplu și poate fi construit cu ușurință în orice uzină.

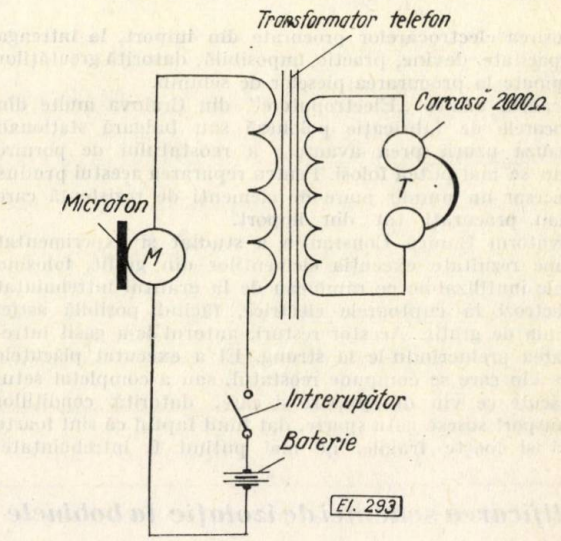


Fig. 1

C.A.

NOI MATERIALE DOCUMENTARE

G. K. Jerve: **Încercările mașinilor electrice rotative** Editura tehnică, 1972

Lucrarea, este pusă la dispoziția cititorilor din țara noastră de către Editura tehnică, într-o formă actualizată și adaptată la stasurile și la condițiile din România. Cartea este o lucrare foarte cuprinzătoare, un fel de cvasimonografie în domeniul măsurării diferiților parametri și caracteristici, constituind așa-numitele „încercări" ale mașinilor electrice rotative. Sînt tratate mașinile de curent continuu (generatoarele și motoarele de c.c.), mașinile sincrone (alternatoarele, motoarele și compresoarele sincrone) și mașinile asincrone uzuale, adică motoarele asincrone. Trebuie remarcat faptul că sînt tratate pe larg, în cele patru capitole ale cărții, toate probele la care trebuie supuse mai întîi materialele constructive și apoi mașinile electrice construite, astfel ca acestea să întrunească caracteristicile proiectate și să corespundă cît mai corect condițiilor din exploatare. Apoi, trebuie subliniat caracterul practic, aplicativ, al procedeelor și metodelor de încercare descrise. Marele merit al autorului constă în aceea că, din numărul extrem de mare de verificări și măsurări posibile asupra mașinilor electrice rotative, acumulate de-a lungul istoriei construcției acestor mașini (perioadă de aproape un secol), a cuprins în lucrare pe acelea care sînt absolut necesare și verificate suficient în practică, construcție și exploatare.

În capitolul întîi se descriu încercările generale, adică acelea care trebuie efectuate asupra tuturor mașinilor electrice, de orice tip. Se tratează apoi încercările comune tuturor categoriilor de mașini electrice rotative, cum sînt: încercările de izolație cu variantele lor: față de corp și între înfășurări, încercări de încălzire, verificarea răcirii mașinilor pentru a nu depăși limitele de temperatură admisibile în diferite părți componente ale acestor mașini. În final sînt prezentate descriptiv și cu indicații de construcție o serie de instalații și dispozitive cum sînt: rezistențe de sarcină pentru generatoarele mari, pentru funcționarea motoarelor mari fără recuperarea energiei, frînarea pentru măsurarea cuplului la motoare, frînarea la oprire și altele.

Capitolul II prezintă încercările specifice mașinilor de curent continuu și anume: verificările legăturilor la înfășurări, atît pentru polii de excitație cît și la înfășurarea indu-

sului (rotorului), măsurarea rezistenţelor acestor înfăşurări, a rezistenţei de izolaţie, atît între spire cît şi faţă de masă (corpul maşinii). Un alt grup de încercări privesc colectorul, periile şi portperiile maşinii, verificarea comutaţiei la sarcina nominală şi la unele suprasarcini accidentale, efectul polilor auxiliari de îmbunătăţire a comutaţiei etc. Se arată apoi partea de experimentări şi verificări pentru trasarea caracteristicii de mers în gol, pierderile la mersul în gol, funcţionarea motoarelor de c.c. fără cuplu rezistent pe arbore ca şi funcţionarea în sarcină, atît a generatoarelor cît şi a motoarelor de curent continuu. Urmează o seamă de încercări mai dificile privind funcţionarea maşinilor în regimuri tranzitorii, cu precădere la scurtircuit, caracteristica de scurtcircuit. Capitolul se încheie cu unele verificări ale funcţionării generatoarelor de curent continuu în paralel, unele condiţii de stabilitate, încărcarea maşinilor funcţie de caracteristica externă şi altele.

Capitolul III este consacrat maşinilor sincrone. Se prezintă metodele şi schemele de încercare asupra maşinii sincrone funcţionînd ca generator cu: verificarea parametrilor şi simetriei (aşezare în cîmp) a fazelor statorului, mersul în gol — caracteristica respectivă —, verificarea tensiunilor pe faze, funcţionarea în sarcină, caracteristica „în V" la variaţia curentului de excitaţie. Sînt descrise încercări care se referă la funcţionarea ca motor: funcţionarea în gol, cu cuplu rezistent pe arbore, funcţionarea motorului sincron cu cos φ capacitiv, pentru a furniza putere reactivă reţelei de alimentare. Un grup important de încercări privesc regimurile de scurtcircuit ale generatorului sincron, determinarea constantelor de timp, tranzitorii, supratranzitorii, forţarea excitaţiei pentru menţinerea tensiunii la borne şi altele. În încheiere se dau încercările ce trebuie efectuate asupra generatoarelor sincrone mari, atunci cînd se instalează în centralele electrice de puteri mari.

Capitolul IV cuprinde încercările ce se fac asupra motoarelor asincrone, maşinile electrice cele mai răspîndite în industrie. La început se prezintă încercările de izolaţie asupra înfăşurărilor statorice şi rotorice, măsurarea rezistenţei acestor înfăşurări şi a raportului de transformare a maşinii. Urmează încercările mecanice, ca mersul în gol şi la suprasaturaţie al motoarelor, încercările la scurtcircuit (cu rotorol blocat), pentru măsurarea simetriei înfăşurărilor rotorului, a cuplului de pornire şi a curentului de pornire a motoarelor asincrone.

Lucrarea, în ansamblul ei, este un îndreptar de mare preţ în munca tehnologilor, constructorilor şi celor ce lucrează în laboratoarele de încercări ale uzinelor constructoare de maşini electrice rotative, de toate tipurile şi întreaga gamă de puteri care se construiesc în ţara noastră. De asemenea, vor beneficia din plin de lucrare toţi energeticienii şi electricienii din industrie care au de montat, întreţinut şi de reparat maşini electrice rotative.

În încheiere menţionez aportul adus de dr. ing. N. Bichir care, pe lîngă verificarea traducerii, a efectuat adaptarea lucrării la condiţiile ţării noastre şi a completat-o cu unele idei noi şi încercări cu privire la măsurarea vibraţiilor şi zgomotului maşinilor electrice rotative.

Ing. *M. Condruc*

CZ 621.311.1.016.35.001.25

Humpage, W. D., Bayne, J. P. şi Durrani, K. E. **Analiza multinodală a regimurilor dinamice ale sistemelor de putere** (Multinode-power-system dynamic analysis) În: Proceedings, IEE, vol. 119, nr. 8, august 1972, p. 1167—1175, 24 ref. bibl.

Analiza regimurilor dinamice ale sistemelor energetice a constituit o problemă importantă pentru determinarea siguranţei lor în exploatare şi s-a materializat într-un număr impresionant de lucrări în care au fost atacate probleme tot mai complexe, în special cu ajutorul unor calculatoare tot mai perfecţionate şi mai rapide. Astfel s-a efectuat analiza unor reţele interconectate cu cîte 250 generatoare, modelîndu-se atît maşinile antrenate cît şi diversele regulatoare ale sistemului. Articolul de faţă este o bază de studiu pe această direcţie fiind folosită metoda lui Kron ce utilizează un sistem de referinţe sincron. După liniarizările de rigoare şi introducerea funcţiilor de transfer ale regulatoarelor şi ale maşinilor de antrenare, ecuaţiilor liniilor şi ale algoritmului de interconectare, sistemul este scris în forma generală a unei ecuaţii matriciale diferenţiale de ordinul 1 şi urmează a fi integrat. Rezolvarea problemelor legate de sisteme complicate cere calculatoare cu memorii operative foarte mari, motiv pentru care autorii acordă o atenţie deosebită optimizării stocării datelor. În faza a doua de modelare sînt introduse sarcini de tipul motoarelor de inducţie, care la rîndul lor sînt simulate direct, pornindu-se de la ecuaţiile lor diferenţiale caracteristice.

O problemă mai delicată este aceea a neliniarităţilor din sistem, datorate caracteristicilor de magnetizare ale maşinilor, curenţilor turbionari în rotoarele masive, condiţiilor limită de funcţionare a regulatoarelor şi a caracteristicilor sarcinilor dependente de tensiune. Toate aceste neliniarităţi sînt pe rînd simulate şi introduse direct în ecuaţia matricială a modelului. Integrarea s-a realizat cu o subrutină predictor-corector Adams-Bashforth şi un pas de integrare între 20 şi 30 ms, mergîndu-se pînă la 120 ms pentru acele părţi ale modelului la care s-au putut utiliza paşi de integrare multipli.

R.M.

CZ 621.313.1.042.12

Kreuzer Joseph. **Circuits magnetiques a cinq colonnes de type moderne** (Circuite magnetice cu cinci coloane de tip modern). În: Revue Brown Boveri, vol. 59 nr. 8 — august 1972, p. 390—394.

În general se crede că transformatoarele trifazate cu cinci coloane nu sînt economice decît pentru puterile limită fiind impuse de condiţiile de transport. Se demonstrează că pot fi realizate transformatoare cu cinci coloane, în mod economic, pentru puteri în jurul a 100 MVA. La diametrul de coloană egal, în ciuda celor cinci coloane, transformatorul este mai uşor decît cel cu trei coloane. Pierderile în fier ale acestui transformator sînt totuşi mai mari, datorită faptului că fluxul în coloanele marginale nu este sinusoidal. Pentru un studiu economic nu trebuie ţinut seama numai de economia de material ci şi de pierderi, precum şi de cheltuielile de fabricaţie. Din punctul de vedere al consumului de materiale, în cele două cazuri înfăşurările sînt aceleaşi, cu aceeaşi tensiune de scurt-circuit şi aceleaşi caracteristici tehnice. Greutatea fierului transformatorului de 140 MVA, de exemplu, care este de 63 tone în cazul cu trei coloane, scade la 59,5 tone în cazul miezului cu cinci coloane. Tipul cu cinci coloane are o înălţime mai mică cu un metru faţă de varianta cu trei coloane, dar este mai lung cu aproximativ un metru. Se ştie, pe de altă parte, că în cazul circuitelor magnetice cu cinci coloane pierderile suplimentare datorate cîmpului de dispersie scad puternic datorită coloanelor extreme de întoarcere. Cheltuielile de fabricaţie ale părţii active sînt practic aceleaşi pentru ambele variante. De asemenea, trebuie ţinut seama de faptul că manopera pentru cuvă şi conexiuni este mai redusă în varianta cu cinci coloane. În ansamblu, se poate spune că circuitul magnetic cu cinci coloane este superior celui cu trei coloane numai în cazul în care caracteristicile tehnice permit să se coboare sub condiţiile limită critice ale circuitului magnetic.

T.C.

CZ 621.314.2:621.315.53:621.316.262

Pelikan, T. **Le transformateur de distribution avec bobinage en aluminium a-t-il de l'avenir?** (Transformatorul de distribuţie cu bobinaj de aluminiu are viitor?) În: Revue Brown Boveri vol. 59 nr. 8, august 1972, p. 368—370.

Transformatorul de distribuţie cu folie de aluminiu s-a impus în S.U.A. şi în unele ţări din Europa de nord. Preţul în creştere al cuprului şi tehnica modernă de fabricaţie va conduce la o dezvoltare similară şi în alte ţări, în următorii ani. Bobinajul de joasă tensiune în folie de aluminiu şi avantajele sale sînt cunoscute. Problemele legate de realizarea conexiunilor au fost rezolvate: se utilizează sudura la rece prin presare, la benzile subţiri şi sudura sub argon pentru benzile groase; aceste metode permit şi sudarea aluminiu-

lui de cupru. Pentru înfăşurarea de înaltă tensiune soluţiile nu au fost definitivate, înfăşurarea din folie nu a reuşit încă să se impună în acest domeniu. Avantajele prezentate de aluminiu, în ceea ce priveşte preţul şi variaţiile lui, se cunosc. La aceasta trebuie adăugat faptul că aluminiul nu reacţionează cu uleiul de transformator, ceea ce conduce la o durată de viaţă mai lungă, a izolaţiei în ansamblu. Se cunosc de asemenea avantajele şi dezavantajele aluminiului în ceea ce priveşte greutatea specifică, conductivitatea, etc. Urmărind curbele de variaţie a preţurilor pentru cupru şi aluminiu se constată că, în timp, avantajele sînt de partea aluminiului. Raportul pentru care un transformator cu înfăşurări din aluminiu devine mai economic decît cel cu înfăşurări din cupru nu depinde numai de costul materialului şi de costul de fabricaţie ci şi de capitalizarea pierderilor la gol şi în sarcină. Ţinînd seama de cele arătate mai sus nu se poate prevedea cînd se va impune în Europa construcţia transformatoarelor de aluminiu.

T.C.

CZ 621.314.2 + 621.318.42.015.532

T a n T y h i n g-T h i a n. **Localisation de decharges partielles dans les transformateurs et reacteurs** (Localizarea descărcărilor parţiale în transformatoare şi reactoare). În : Revue Brown Boveri, vol. 59, nr. 8 august 1972, p. 399—403.

În timp ce tensiunile nominale şi puterile transformatoarelor cresc continuu, de cîţiva ani există tendinţa de a coborî tensiunile de încercare de frecvenţă industrială. Această tendinţă este motivată de raţiuni de ordin economic ca şi prin faptul că încercarea de 1 minut cu o tensiune alternativă mult mai ridicată nu corespunde în nici un fel condiţiilor reale impuse de tensiunile de lucru la frecvenţa nominală. Tendinţa mai sus menţionată conduce la necesitatea de a controla comportarea izolaţiei la tensiunea de lucru sau o tensiune cu 10 pînă la 30% mai mare, cu ajutorul măsurării descărcărilor parţiale. Metoda devine eficace numai dacă se cunoaşte locul în care se produc descărcările în transformator. Este, deci, necesar să se procedeze atît la detectarea, cît şi la localizarea descărcărilor parţiale. Există opinii că descărcările paţiale nu pot fi practic localizate. Încercările efectuate de către autor arată însă că posibilitatea localizării există, dar nici una din metodele de localizare cunoscute pentru transformatoare nu este nici uşoară, nici perfectă şi nici universal aplicabilă, cu toate că de la prima publicaţie despre această temă au trecut zece ani. În stadiul actual al tehnicii este necesară combinarea a diverse metode pentru a avea unele şanse de succes. Este avantajoasă combinarea metodelor electrice — cum ar fi măsurarea tensiunii la sfîrşitul înfăşurării — cu metode neelectrice, cum ar fi localizarea prin ultrason. Metoda care constă în măsurarea tensiunii pe sfîrşitul înfăşurării cu ajutorul unei tensiuni auxiliare este o metodă care permite localizarea zonei în care se produce o descărcare parţială prin simpla determinare a raportului a două variaţii de tensiuni aplicate.

T.C.

CZ 621.314.632—503.4

S u c e n a-P a i d a, J. P. ş.a. — **Studii asupra stabilităţii redresoarelor controlate folosind un nou model discret.** (Stability study of controlled rectifiers using a new discrete model). În : PIEE 119, nr. 9, 1972, 1285—1293.

Se studiază stabilitatea sistemelor cu control în buclă închisă ce cuprind redresoare controlate. Datorită extensiei deosebite luate de aplicaţiile mutatoarelor, problemele ridicate de stabilitatea sistemelor de control ce includ convertoare sînt în centrul atenţiei cercetătorilor. Autorii introduc un nou model pentru convertor, convenabil la semnale reduse. Modelul redă comportarea discretă a redresorului comandat şi este primul model ce ţine seama de reactanţa de comutaţie. Modelul introdus permite folosirea teoriei standard a sistemelor cu date eşantionate pentru studiul stabilităţii sistemului. Datorită faptului că modelul permite considerarea reactanţei sistemului se poate arăta că unghiul de comutaţie este un factor important în stabilirea limitelor de stabilitate. Se ţine seama de ondulaţia curentului prin introducerea unui factor de corecţie, iar pentru calcul se foloseşte transformata discretă Z. Se compară limitele de stabilitate obţinute prin noul model cu cele rezultate din folosirea altor modele şi se arată că rezultatele experimentale sînt în bună concordanţă cu prevederile teoriei dezvoltate.

O.L.

CZ 621.316.93(083—133) :621.314.2 :621.317.333.82

C h r i s t o f f e l, M. **Les effets des nouvelles recommandations pour la coordination de l'isolement sur les conditions futures d'essais des transformateurs** (Efectele noilor recomandări pentru coordonarea izolaţiei asupra condiţiilor viitoare de încercare a transformatoarelor). În : Revue Brown Boveri, vol 59, Nr. 8 august 1972, p. 395—398.

În 1966 CEI a decis revizuirea completă a recomandărilor pentru coordonarea izolaţiei, în vederea înglobării în noile recomandări a experienţei căpătate în exploatarea liniilor de 420, 525 şi 765 kV. Grupul de lucru însărcinat cu revizuirea acestei recomandări a terminat lucrările în 1970 şi rezultatul a fost aprobarea celei de a cincea ediţii a publicaţiei 71 a CEI. Analiza noilor recomandări duce la concluzia că pentru moment modificările afectează numai încercările echipamentelor avînd tensiuni de peste 300 kV inclusiv. Numai după căpătarea unei suficiente experienţe domeniul aplicării noilor reguli se va extinde la instalaţiile de 245 kV. Modificările cele mai importante, aduse de noile recomandări, pot fi rezumate după cum urmează :

1) Aplicarea statisticii la configuraţiile care, după o amorsare, îşi restabilesc imediat calităţile dielectrice iniţiale.

2) Introducerea încercărilor de ţinere la impulsuri de manevră.

3) Schimbarea sensului încercărilor de ţinere la tensiunile de frecvenţă industrială şi prin urmare a amplitudinii şi duratei de aplicare a tensiunilor alternative de încercare.

Există în prezent tendinţa de a recunoaşte că verificarea unei dimensionări corecte a transformatorului, în ceea ce priveşte ţinerea la fenomenele de supratensiuni tranzitorii, este dată de încercarea la impuls şi la supratensiuni de manevră. Este deci natural să se caute să se modifice încercările cu tensiune alternativă astfel încît acestea să permită o mai bună apreciere a comportării de lungă durată faţă de ceea ce se putea obţine de la încercarea clasică de 1 minut.

T.C.

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

Noutăți în domeniul industriei electrotehnice și electronice prezente la Tîrgul de primăvară de la Leipzig — 1973

Metropola comercială a Republicii Democrate Germane — Leipzig — și-a deschis porțile pentru a găzdui și în acest an o amplă participare la ediția de primăvară a tradiționalului Tîrg Internațional care a avut loc între 11 și 18 martie.

La ședința de inaugurare, care s-a ținut în ziua de 10 martie la Opera de Stat din Leipzig, în prezența lui Gerhard Weiss — vicepreședintele Consiliului de Miniștri al R.D.G., au participat numeroase delegații oficiale printre care și delegația țării noastre condusă de Ioan Avram, ministrul industriei construcțiilor de mașini grele.

Leipzig, cunoscut în lumea comercianților de mai bine de 100 de ani, a fost din nou centrul de atracție al producătorilor și comercianților din întreaga lume pentru o perioadă de 10 zile, timp în care peste 9 000 de producători din 60 de state și-au prezentat produsele pe o suprafață de 350.000 m².

Tîrgul de la Leipzig, întrunind calitățile unui tîrg modern, este conceput astfel încît toate exponatele aparținînd diferitelor firme producătoare prezente la fiecare ediție a sa sînt dispuse pe grupe mari de produse corespunzătoare principalelor ramuri industriale. În felul acesta, vizitatorii din țară și străinătate (reprezentanți ai numeroaselor întreprinderi, oameni de afaceri, economiști, oameni de știință, tehnicieni) au posibilitatea să aprecieze și să compare nivelul tehnic și calitativ al produselor realizate în țările participante și să cunoască totodată nivelul tehnic atins de producția industrială într-un sector anumit, pe plan mondial.

Avînd în vedere modificările aduse în ultimii ani profilului celor două ediții anuale ale tîrgului de la Leipzig, în primăvara acestui an s-a reușit concentrarea expozanților, a ramurilor și suprafețelor de expunere, în patru mari complexe pe ramuri în felul următor:

— mașini grele și instalații, cu expozanți din 24 de țări;
— mașini-unelte și scule, cu expozanți din 21 de țări;
— tehnica automatizării, electronică și electrotehnică (fig. 1), cu expozanți din 22 de țări;

Fig. 1

— tehnica agro-alimentară, cu expozanți din 19 țări.

Locul preponderent l-au deținut cele 14 țări socialiste care au participat la această ediție de primăvară a Tîrgului de la Leipzig cu peste 6 000 expozanți avînd la dispoziție o suprafață de aproximativ 287 000 m².

Fig. 2

Un număr de 300 de întreprinderi de comerț exterior din țările socialiste au participat prin reprezentanții lor la tratative și încheind contracte rodnice.

Țara noastră a marcat, la ediția din primăvara acestui an, a 41-a participare la tîrgurile de la Leipzig s-a prezentat pe o suprafață de 2 400 m², cu o gamă variată de produse, ale industriei constructoare de mașini, electrotehnice, electronice, metalurgice și alimentare. Exponatele românești prezentate în cadrul tîrgului au reflectat progresele realizate de industria țării noastre în ultimii ani și posibilitățile sporite ale României de a participa la circuitul mondial de valori materiale.

Dintre exponatele românești, cele mai reprezentative, pot fi amintite produsele prezentate de întreprinderea de comerț exterior „Mașinexport" (fig. 2) ca strungul carusel realizat de F.M.U.A.B.; strungul paralel cu comandă program S.N. 630; strungul paralel S.N.A. 710 produs de fabrica din Arad etc. De asemenea au putut fi văzute produse ale industriei electrotehnice și electronice într-o gamă largă, de la micromotoare electrice la mașini de calculat, cît și

centrale telefonice. Au atras atenția tractoarele românești, mașinile agricole și utilajele pentru industria petrolieră prezentate pe platformele special amenajate în aer liber.

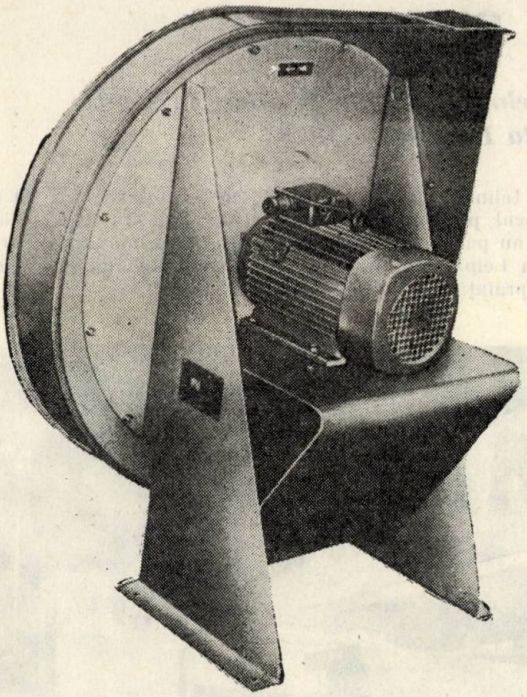


Fig. 3

construcții industriale și de locuit, și foarte interesante instalațiile criobiologice, care, aplicînd principiile criotehnicii, servesc la păstrarea, depozitarea și transportul medicamentelor și produselor biologice.

— *VEB KOMBINAT ROBOTRON* a fost prezent cu noutăți în domeniul instalațiilor de prelucrarea datelor (Sistemul ES 1040—fig. 4).

— *VEB KOMBINAT ZENTRONIK* cu mașini de contabilizat, mașini de scris, de desenat, de calculat, microcalculatoare electronice toate purtînd cunoscuta emblemă *daro*. În figura 5 se vede una dintre cunoscutele mașini de contabilizat automate „Ascota".

— *KOMBINAT VEB KERAMISCHE WERKE HERMSDORF* a fost prezent, printre altele, cu produse și instalații, ale industriei ceramice utilizate în industria electrotehnică electronică, chimică și constructoare de mașini ca izolatoare elemente constructive electronice pentru radio și televiziune, pentru tehnica informațiilor și prelucrarea datelor etc.

Acestea sînt numai cîteva dintre produsele și noutățile prezentate de țara gazdă la ediția de primăvară a tîrgului de la Leipzig din acest an. Trebuie menționat însă că R.D.G. a participat cu exponate în toate cele 26 de ramuri ale tehnicii și industriei bunurilor de larg consum care au constituit profilul tîrgului din acest an, iar nivelul și amploarea acestei participări au fost apreciate de specialiști și au impresionat plăcut pe toți vizitatorii tîrgului.

Un alt aspect deosebit de interesant al acestei ediții a tîrgului a fost vastul program de manifestări tehnico-științifice, prevăzut tocmai în scopul realizării unui bogat schimb de experiență și al unei prezentări cît mai documentate cu explicații de specialitate care se cereau a fi date cu ocazia prezentării noilor realizări tehnice ale numeroșilor participanți.

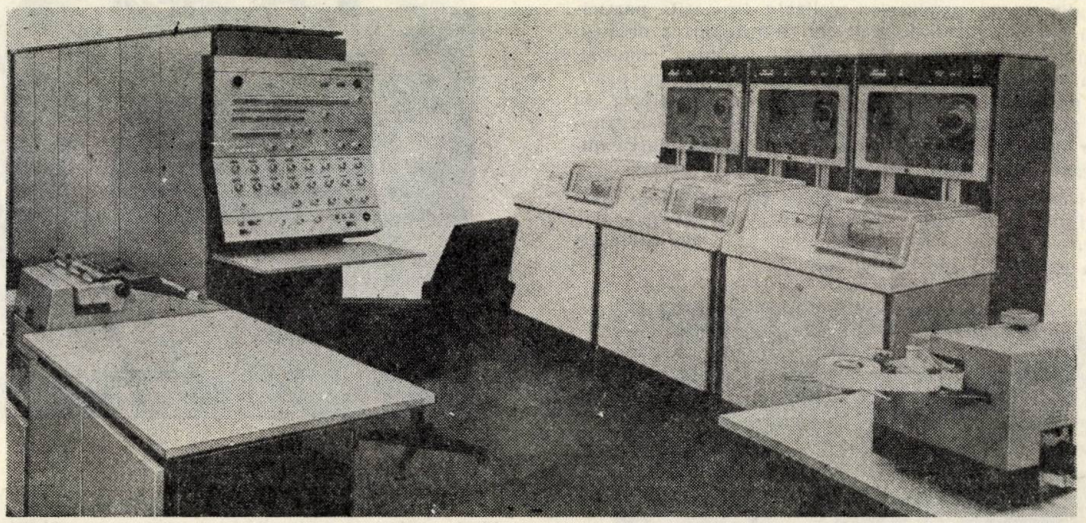


Fig. 4

Țara gazdă — Republica Democrată Germană — a fost reprezentată de peste 4000 de întreprinderi producătoare și de comerț exterior, cu o bogată gamă de produse pentru export din toate ramurile tehnicii și ale industriei bunurilor de larg consum.

Produsele cele mai reprezentative din domeniile mașini-unelte, electrotehnică, electronică și construcția de mașini grele fac parte din programul de fabricație al unor firme din R.D.G., cu renume mondial, dintre care vom aminti în continuare cîteva.

— *VEB KOMBINAT LUFT-UND KÄLTETECHNIK*, cu un vast program de fabricație din tehnica ventilației și a frigului, s-a prezentat anul acesta la tîrgul de primăvară cu noutăți în acest domeniu, dintre care amintim instalații de climatizare, compresoare frigorifice, ventilatoare (fig. 3, ventilator radial) și instalații pentru aer condiționat pentru

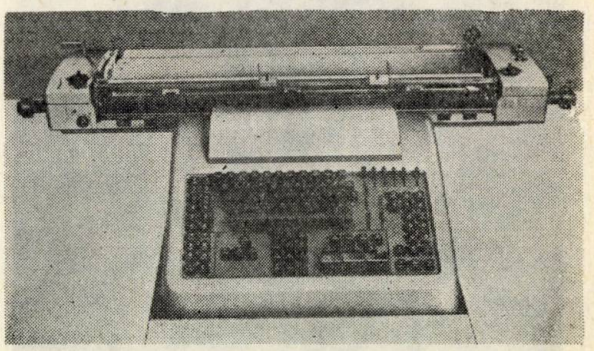


Fig. 5

Astfel, în timpul tîrgului au avut loc sesiuni de specialitate privind aplicarea procedeelor moderne în domeniul construcțiilor de mașini și dezvoltarea electronicii la care se adaugă cele 100 de conferințe tehnice prezentate de referenți din diferite țări care au contribuit la realizarea unei priviri de ansamblu asupra evoluției în multe domenii importante ale industriei.

Prin organizarea și participările pe care le-a avut, Tîrgul de primăvară de la Leipzig din acest an a obținut, fără îndoială, ca toate manifestările de acest gen, rezultate importante pe linia extinderii colaborării între țările socialiste între țările capitaliste, între toate țările lumii, în interesul păcii și progresului.

Ing. *Maria Constantin*

Realizări de înaltă tehnicitate — produse ale industriei electrotehnice românești — la Tîrgul Internațional de la Leipzig.

În afara relațiilor comerciale și a contractelor rodnice care sînt rezultatul imediat al participării țării noastre, la tîrgurile internaționale cu produse corespunzătoare exigențelor pe plan mondial, nu pot fi trecute cu vederea efectele unei afirmări tot mai pronunțate ale industriei românești în toate sectoarele tehnicii și economiei.

Efectele acestei afirmări sînt ,,produsele românești pe toate meridianele lumii'' și aprecierile de care se bucură exponatele țării noastre cu ocazia acestor tîrguri din partea experților, specialiștilor, comercianților și a tuturor vizitatorilor tîrgurilor respective. Merită să reținem atenția asupra prezenței României (fig. 1), la Tîrgul de la Leipzig din primăvara acestui an și în special asupra sectorului electrotehnic și electronic.

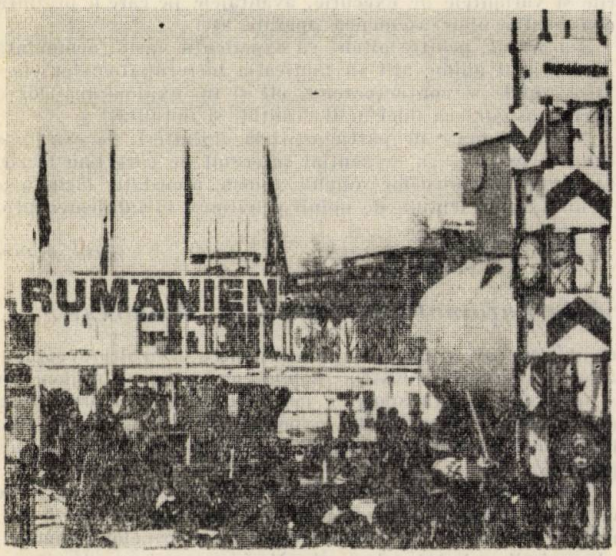


Fig. 1

Încă din prima zi a tîrgului, numeroși vizitatori s-au oprit la expozițiile țării noastre. Un mare număr de specialiști s-a interesat îndeaproape de exponatele românești. S-a apreciat ca deosebit de fructuoasă activitatea firmelor noastre în domeniul electrotehnicii și electronicii care au încheiat contracte și au dus tratative pentru efectuarea unor livrări sporite în anul viitor.

Din oferta României, la această ediție a Tîrgului de la Leipzig, vom prezenta cîteva din exponatele de vîrf ale producătorilor din sectorul electrotehnic, prin expozițiile organizate de întreprinderile românești de comerț exterior ,,Mașinexport'' și ,,Electronum''.

Mașinexport a prezentat o serie de produse și realizări, dintre cele mai noi și mai apreciate de partenerii străini, ale uzinelor Electroputere — Craiova, Uzina de mașini electrice — București; Electromotor — Timișoara; Electrobanat; Electrotehnica; Electromontaj etc. pe care le amintim în continuare:

— Electroputere a prezentat, printre altele transformatorul de forță de 630 kVA, postul de transformare de tip PTE; contactorul în aer de 6 kW; motorul asincron de 100 kW etc.

— Uzina de mașini electrice — București a fost prezentă cu o gamă largă de produse și anume motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit în execuție antiexplozivă — antideflagrantă Ex. A cum este seria AE de motoare antiexplozive de puteri între 0,8 și 100 kW (fig. 2) sau motoarele

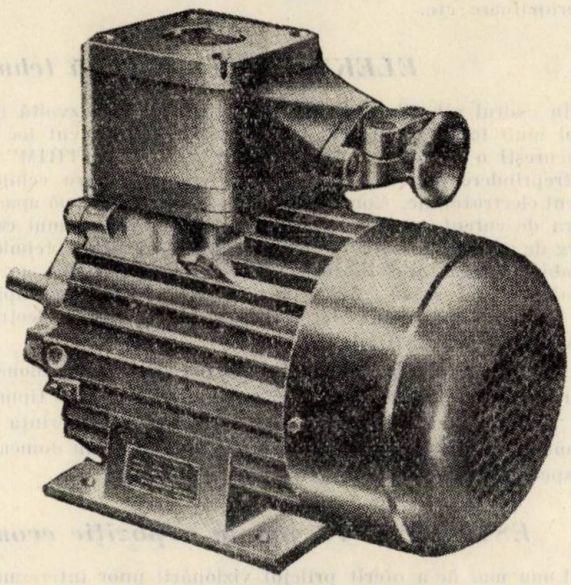


Fig. 2

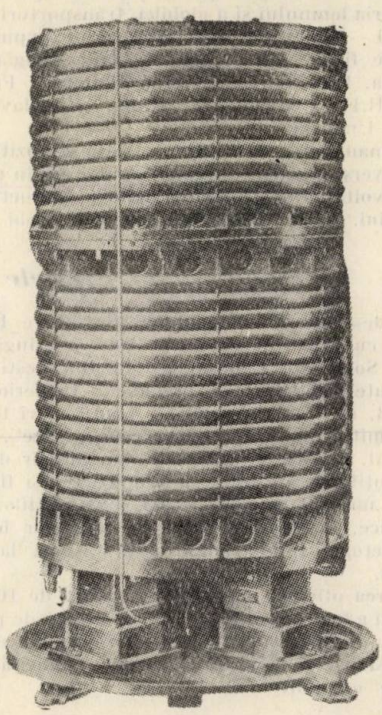


Fig. 3

tip AEM antigrizutoase; grupuri convertizoare de sudură tip CS și mult apreciatul grup convertizor de medie frecvență GEF—AV (fig. 3) care deși nu a fost expus decît printr-o prezentare grafică și prospecte a fost contractat și este în curs de livrare. Acesta este unul dintre noile produse ale Uzinei de mașini electrice — București care se bucură de mare succes, atît în țară, cît și în străinătate, fiind apreciat pentru parametrii tehnicii superiori care-l caracterizează, situîndu-l în acest fel printre echipamentele de vîrf ale industriei electrotehnice din țara noastră. Este de fapt rezultatul unei invenții care în 1969, în cadrul Salonului Internațional al invențiilor de la Viena, a luat medalia de aur.

— Întreprinderea Electrotehnica a expus micromotoare, transformatoare, relee Bucholtz pentru protecția transformatoarelor — unul dintre produsele românești realizat cu succes care se găsește de mai mult timp în fabricație curentă.

— Intreprinderea Electroaparataj prezentă cu aparataj de joasă tensiune — întrerupătoare, relee termice, microîntrerupătoare etc.

Au mai fost expuse diverse tipuri de corpuri de iluminat produse de Electrobanat, o gamă variată de motoare ale întreprinderii Electromotor, precum și un bogat sortiment de aparate de măsură fabricate de FAM — Timișoara.

Toate aceste expoziții, organizate de țara noastră cu ocazia tîrgului de primăvară de la Leipzig din acest an, reprezentative pentru potențialul crescînd de producție și de export al țării noastre se înscriu ca o contribuție marcantă, cu multiple efecte pozitive în dezvoltarea și diversificarea relațiilor economice și comerciale între România și celelalte țări ale lumii. În același timp, multiplicarea contactelor directe între firmele și organizațiile comerciale din țările participante la tîrg contribuie la punerea în valoare a unor noi domenii ale cooperării economice și tehnico-științifice, reciproc avantajoase, în spiritul colaborării internaționale.

Ing. *Maria Constantin*

ELEKTRIM. Conferință tehnică — Aparatură de curent continuu

În cadrul relațiilor tehnico-științifice, ce se dezvoltă tot mai mult în țara noastră, la 17 aprilie a.c. a avut loc la București o conferință tehnică a firmei ,,ELEKTRIM'' — Intreprindere poloneză de comerț exterior pentru echipament electrotehnic. Conferința tehnică a avut ca temă aparatura de curent continuu, dezbătînd, în prezența unui cerc larg de specialiști români și reprezentanți ai presei tehnice, probleme legate de fabricația ,,Contactoarelor de curent continuu din seria ,,SU'' și a ,,Întrerupătoarelor rapide de curent continuu'' la Fabrica de Aparate electrice ,,APENA—BIELSKO-BIALA''.

Expunerile au fost prezentate de doi specialiști polonezi, care, pe lîngă datele tehnice și economice legate de tipurile de aparate menționate mai sus, au ilustrat conferința cu proiecții de diapozitive, completînd informațiile în domeniul respectiv.

Au fost reliefate astfel, domeniile de utilizare a curentului continuu, a contactoarelor și întrerupătoarelor rapide (produse ce au obținut medalia de aur la Tîrgurile internaționale de la Plovdiv — 1968 și Leipzig — 1969, condițiile privind funcționarea lor, caracteristicile constructive, tipurile și variantele de execuție, avantajele pe care le prezintă construcția unor asemenea aparate etc.

S-a arătat, printre altele, că experiența vastă, acumulată de-a lungul anilor atît în fabricația întrerupătoarelor electrice rapide și contactoarelor, cît și în exploatarea lor a permis asigurarea unei înalte calități și fiabilități.

Numărul mare de participanți la dezbateri, pe marginea temelor expuse, a evidențiat interesul pe care l-au trezit, în rîndul specialiștilor români, temele abordate, făcîndu-se și un valoros schimb de opinii privitoare la fabricarea produselor menționate.

Greta Andrei

ESTIMO — 73, prima expoziție economică internațională găzduită la București.

Luna mai ne-a oferit prilejul vizionării unor interesante exponate, cu ocazia organizării în Capitală a ,,Expoziției internaționale de mașini și echipamente pentru silvicultură, industria lemnului și a mobilei, transporturi, construcții și instalații — ESTIMO 73''. Aici și-au expus produsele peste 80 de firme din Anglia, Austria, Belgia, Bulgaria, Cehoslovacia, Danemarca, Elveția, Finlanda, Franța, R.D. Germană, R.F. a Germaniei, Italia, Jugoslavia, Olanda, Polonia și Ungaria.

Această manifestare a continuat seria expozitiilor specializate pe diverse domenii începute cu doi ani în urmă, avînd ca scop dezvoltarea și stimularea dialogului fructuos cu partenerii străini. Axată pe prezentarea celor mai noi echipamente, mașini, utilaje și accesorii pentru silvicultură, exploatarea lemnului, industria mobilei, a hîrtiei, a mijloacelor și utilajului de transport, a instalațiilor pentru producerea materialelor de construcții, expoziția a permis confruntarea inteligenței românești și străine în construcția unor asemenea produse.

Țara noastră a fost reprezentată de 16 întreprinderi de comerț exterior și centrale industriale, coordonate de 6 ministere economice. Exponatele aparținînd firmelor românești ,,Forexim'', ,,Autotractor'' și ,,Mașinexport'' au stîrnit un viu interes în rîndul specialiștilor români și străini fiind apreciate ca produse de înaltă calitate și tehnicitate.

Greta Andrei

Zilele economice cehoslovace

Camera de comerț a Republicii Socialiste România, în colaborare cu Agenția economică de pe lîngă ambasada Republicii Socialiste Cehoslovace la București și Agenția de publicitate din Praga, a organizat, în perioada 16—20 aprilie 1973, un vast program de manifestări tehnico-științifice denumit ,,Zilele economice cehoslovace''.

Programul, constînd dintr-un mare număr de conferințe tehnice însoțite de proiecții de diapozitive și filme, tratînd problemele multiple ale industriei construcțiilor de mașini, electrotehnice, electronice și ale instalațiilor folosite și în celelalte sectoare industriale, s-a desfășurat la Sala Palatului R.S.S.

Deschiderea oficială a avut loc pe data de 16 aprilie a.c. În aceeași zi a fost organizată și o conferință de presă în care s-au făcut aprecieri asupra dezvoltării economice și industriale a Cehoslovaciei și asupra relațiilor comerciale româno-cehoslovace existente.

Dintre cele 29 de conferințe tehnice, care au fost prezentate cu ocazia ,,zilelor economice cehoslovace'', prezentăm în continuare cîteva care au tratat probleme interesînd pe specialiștii din domeniul electrotehnic și anume:

— Rezonanța magnetică nucleară și dezvoltarea ei în R.S.C.;
— Microscopia electronică și microscopul BS 500;
— Pompe pentru uzinele electrice;
— Aparate de măsură electronice METRA 73;
— Aparate de înregistrare METRA BLANSKO;

La aceste conferințe a participat un mare număr de specialiști din uzinele și institutele noastre și s-au purtat discuții fructuoase asupra problemelor tratate, realizîndu-se în acest fel un bogat schimb de experiență și lărgirea relațiilor de prietenie și colaborare între cele două țări prietene.

Ing. *Maria Constantin*

INHALTSVERZEICHNIS

Leitartikel

Electrotehnica **21**, H. 7, Juli 1973, S. 257–258

DK 621.313.222–523.2.004.86

Oprişor, M., Moga, V. und *Ciută, V.*: **Die Regelkennlinien für ein verbessertes Steuerschaltbild der Gleichstromreihenschlussmaschine.**

Electrotehnica **21**, H. 7, Juli 1973, S. 259–263

Die auf experimentellen Wege gewonnenen Regelkennlinien für ein Impulssteuerungsschema der Gleichstromreihenschlussmaschine, die im Motorbetrieb und in Nutzbremsungs-oder Dynamikbetriebe arbeitet, werden untersucht. Das Schema ist auf Grund eines Direktgleichspannungsumformer mit Lastunabhängige Strowendungskreise gedacht. Die Güte der Regelung und ihre wirtschatflichkeit werden beurteilt. Die Bedingungen unter deren jede studierte Bremsungsart verwendet werden kann, werden festgelegt.

DK 621.3.066.6.001.891

Suciu, I.: **Beiträge zum Versuchstudium des Berührungswiderstands in unhomogene Anschlüsse. Anwendung beim Kontakt der Zentrallamelle der Fassung E–27.**

Electrotehnica **21**, H. 7, Juli 1973, S. 264–270

Ein Versuchsstudium und praktische Schlussfolgerungen über den Einfluss der Druckkraft und der Temperatur auf den Berührungswiderstand in den unhomogenen Anschluss in der Zentrallamellenzone der metallischen, verbesserte E–27 Fassung inländischer Herstellung, werden dargelegt.

DK 621.357.2 Cu

Radovici, O., Vass, Cecilia und *Solacolu, I.*: **Glanzkupferablagerungen auf Zinklegierungen aus Pyrophosphat – Bäder.**

Electrotehnica **21**, H. 7, Juli 1973, S. 271–276

Es werden die Ergebnisse bezüglich der Erlangung von Kupferablagerungen aus einem Pyrophosphat-Bad auf Zinklegierung und der Einfluss der Hauptparameter (pH, Temperatur, Rühren, Glanzmittelzusatz) auf der katodische Wirksamkeit und der Ablagerungsstruktur dargelegt. Die Optimalbetriebsparameter des Kupferzugbades werden festgelegt.

FÜR DEN JUNGEN INGENIEUR

DK 621.313.1 : 534.21.001.4

Darabont, Alex. und *Văiteanu, D.*: **Lärmbekämpfung bei elektrische Rotationsmachines.**

Electrotehnica **21**, Nr. 7, Juli 1973, S. 276–280

LEISTUNGEN DER RUMÄNISCHEN INDUSTRIE 285

NEUES DOKUMENTATIONSMATERIAL 286

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE EREIGNISSE 289

СОДЕРЖАНИЕ

Передовая

Electrotehnica **21**, № 7, июль 1973, стр. 257–258

ДК 621.313.222–523.2.004.86

Опришор, М., Мога, В. и *Чютэ, В.:* **Характеристики регулировки для улучшенной схемы управления серийной машины постоянного тока.**

Electrotehnica **21**, № 7, июль 1973, стр. 259–263

Анализируется характеристика регулировки, полученная экспериментальным путем, для схемы импульсного управления серийной машины, работающей в режиме двигателя и в режимах рекуперативного или динамического торможения. Схема разработана на основе прямого преобразователя постоянного напряжения с коммутационными цепями, независящими от заряда. Проводится оценка качества регулировки и её экономичности. Установлены условия, при которых можно применять любой тип исследованного торможения.

ДК 621.3.066.6.001.891

Сучю, И.: **Экспериментальное исследование контактного сопротивления в неоднородных соединениях. Применение к контакту центральной пластинки патрона Е—27.**

Electrotehnica **21**, № 7, июль 1973, стр. 264–270

Описывается экспериментальное исследование и практические выводы относительно влияния силы давления и температуры на контактное сопротивление, в неоднородном соединении в зоне центральной пластинки патрона Е—27, румынского производства, с улучшенной металлической конструкцией.

ДК 621.357.2 Cu

Радович, О., Васс, Чечилия и *Солаколу, И.:* **Блестящие наплавки меди на цинковых сплавах из пирофосфатных ванн.**

Electrotehnica **21**, № 7, июль 1973, стр. 271–276

Приводятся результаты в связи с возможностью получения медных наплавок в пирофосфатной ванне, на цинковых сплавах и влияние основных параметров (*p*H, температура, перемешивание, добавка блескообразователя) на катодную эффективность и структуру наплавки. Устанавливаются оптимальные параметры работы ванн для омеднения.

Для молодого инженера

ДК 621.313.1:534.21.001.4

Дарабонт, Алекс. и *Вэйтяну, Д.:* **Устранение шумов вращающихся электрических машин**

Electrotehnica **21**, № 7, июль 1973, стр. 276–280

Достижения румынской промышленности 285

Новые документальные материалы 286

Проявления в области науки и техники 289

SOMMAIRE

Editorial

Electrotehnica **21**, No. 7, july 1973, p. 257–258

CD 621.313.222–523.2.004.86

Oprişor, M., Moga, V. et *Ciută V.* : **Les caractéristiques de règlage pour un schéma amélioré de commande de la machine série de courant continu.**

Electrotehnica **21**, No. 7, juillet 1973, p. 259–263

On analyse les caractéristiques de règlage, obtenues par voie expérimentale, pour un schéma de commande par impulsions de la machine série de courant continu, qui fonctionne en régime moteur et dans les régimes de freinage récupératif ou dynamique. Le schéma a été conçu à base d'un convertisseur direct de tension continue à circuits de commutations indépendants de la charge. On fait des appréciations sur la qualité du règlage et sur son économicité. On établit les conditions dans lesquelles on peut utiliser chaque type de freinage étudié.

CD 621.3.066.6.01.891

Suciu, I. : **Contributions à l'étude expérimentale de la résistance de contact dans les jonctions non-homogènes. Application au contact de la lamelle centrale de la douille E–27.**

Electrotehnica **21**, No. 7, juillet 1973, p. 264–270

On présente une étude expérimentale et les conclusions pratiques concernant l'influence manifestée par la force de pression et la température sur la résistance de contact, dans la jonction non-homogène de la zone de la lamelle centrale de la douille, de construction indigène, E–27 métalliques, améliorée.

CD 621.357.2 Cu

Radovici, O., Vasa, Cecilia et *Solacolu, I.* : **Dépôts luisants de cuivre sur des alliages de zinc les bains de pyrophosphates.**

Electrotehnica **21**, No. 7, juillet 1973, p. 271–276

On présente les résultats concernant la possibilité d'obtenir certains dépôts de cuivre, à partir d'un bain de pyrophosphate, sur des alliages de zinc et l'influence des principaux paramètres (*p*H, température, barbotage, addition d'agent pour le luisant) sur l'efficience catodique et sur la structure des dépôts. On établit les paramètres optima de fonctionnement du bain de cuivrage.

POUR LE JEUNE INGÉNIEUR

CD 621.313 : 534.21.001.4

Darabont, Alex. et *Văiteanu, D.* : **La lutte contre le bruit des machines électriques rotatives.**

Electrotehnica **21**, No. 7, juillet 1973, p. 276–230

RÉALISATIONS DE L'INDUSTRIE ROUMAINE 285

NOUVEAUX MATÉRIAUX DOCUMENTAIRES 286

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 289

CONTENTS

Editorial

Electrotehnica **21**, No. 7, july 1973, p. 257–258

DC 621.313.222–523.2.004.86

Oprişor, M., Moga, V. and *Ciută, V.* : **Regulating characteristics of an improved control diagram of a direct current machine.**

Electrotehnica **21**, No. 7, july 1973, p. 259–263

The authors analyse the regulating characteristics of a pulse control diagram of a direct current machine under normal running conditions or under regenerative braking or dynamic conditions. The diagram is based on a d.c. voltage transformer with switching circuits, independent of the load. The paper includes assessments of the regulation accuracy and its economic aspects, setting up the operation conditions for each type of braking studied.

DC 621.3.066.6.001.891

Suciu, I. : **Contribution to the experimental study of the contact resistance in non-homogeneous joints. Experiment carried out with the central bar contact of E–27 socket.**

Electrotehnica, **21**, No. 7, july 1973, p. 264–270

An experimental study and practical conclusions regarding effect of thrust force and temperature on the contact resistance in the non-homogeneous joint of the central bar area of the Romanian-built, improved, all-metal E–27 socket.

DC 621.357.2 Cu

Radovici, O., Vass Cecilia and *Solacolu, I.* : **Glossy copper depositions upon zinc alloys in pyrophosphate baths.**

Electrotehnica **21**, No. 7, july 1973, p. 271–276

The authors descrilee the possibility of achieving copper depositions in a pyrophosphate bath upon zinc alloys and the influence of the main parameters (pH, temperature, stirring, addition of glossy agents) ou the cathodic efficienuy and the structure of the deposits. The authors have calculated the optimum operation parameters of the galvanic copper bath.

FOR YOUNG ENGINEERS:

DC 621.313.1 : 534.21.001.4

Darabont, Alex. and *Văiteanu, D.* : **Noise control in electric rotary machines.**

Electrotehnica **21**, No. 7, july 1973, p. 276–230

ROMANIAN INDUSTRIAL ACHIEVEMENTS 285

NEW DOCUMENTARY MATERIALS 286

SCIENTIFIC AND TECHNICAL AVENTS 289

Toate cerintele pentru inregistrare cu doua piste

Combinaţie unică a 12 avantaje.

Intr-un singur instrument - Philips PM 8010 - sînt conţinute toate facilităţile necesare pentru înregistrarea fenomenelor corelate. El este procurabil la un preţ competitiv.

Documentaţie completă şi detalii de preţuri se pot obţine de la reprezentanţele Philips sau scriind la:

Departementul PIT Export, HSM-p, N.V. Philips Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Olanda.

PHILIPS

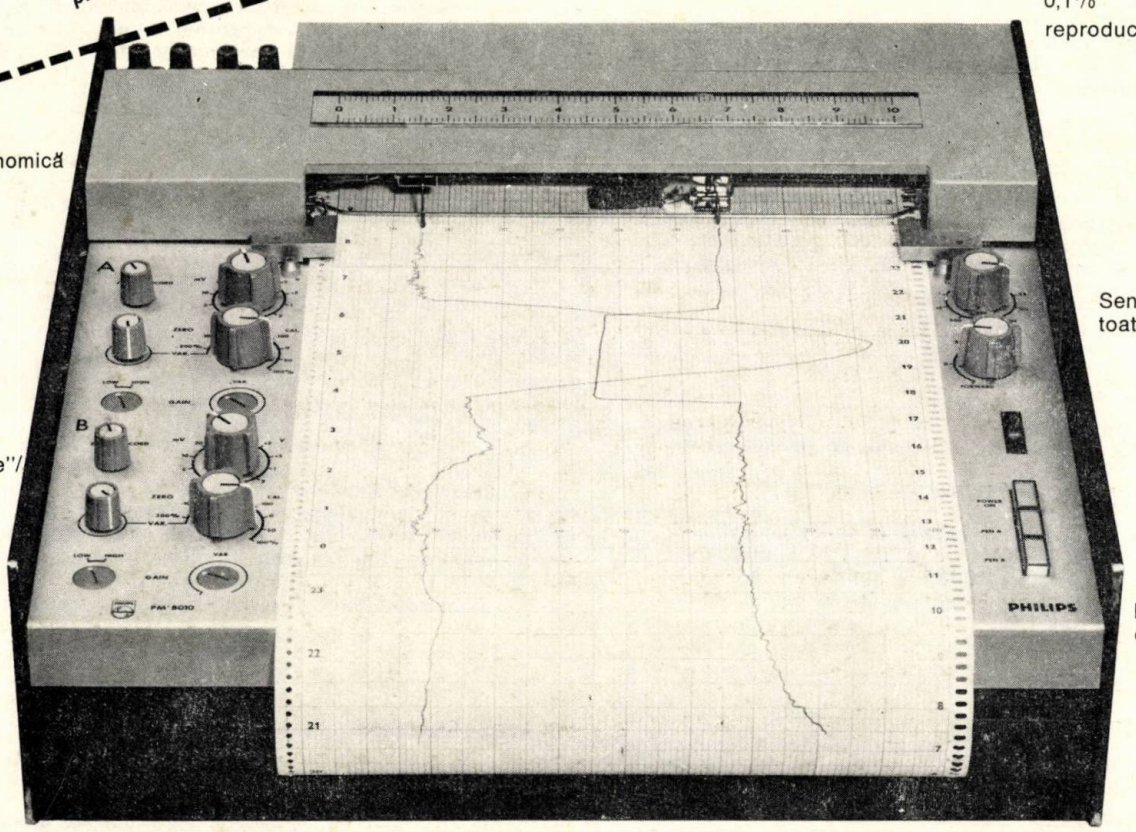
PM 8010
Linie dublă - 12 domenii
precizie 0,25%

Sisteme independente, separate, pentru ambele canale pe toată lăţimea de 250 mm a foii.

Precizie 0,25% pe toate cele 12 domenii.

0,1% reproductibilitate.

Prezentare ergonomică excelentă.



Sensibilitate 1 mV pen toată scala.

Comutator "înregistrare"/ "zero".

Ridicarea peniţei t comandată electric

Antrenarea hîrtiei cu lo viteze.

Axa zero deplasabilă pînă la de două ori lăţimea hîrtiei, calibrată si variabilă.

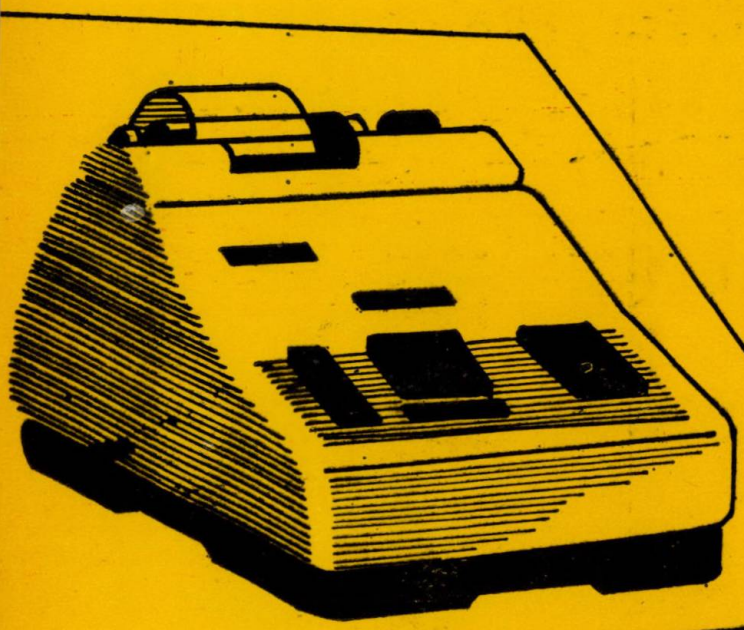
Alimentare electrică în punte de înaltă tensiune.

Inregistrare cu o peniţă de nylon curată şi ascuţită. Cartuşe transparente montate prin apăsare.

Marcarea fenomenelor.

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁRÉS * DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT * 1883

PHILIPS



Produsele sînt de calitate superioară, au forme moderne, plăcute şi sînt mult apreciate atît pe piaţa internă cît şi pe cea externă.

Întreprinderea „ELECTROMUREŞ" fabrică un bogat sortiment de produse electrocalorice de uz casnic şi industrial, maşini de calculat electromecanice precum şi o variată gamă de conductori electrici, cordoane pentru aparate de uz casnic, conducte şi cordoane de telecomunicaţii, precum şi seturi de cablaje electrice autotractor.

ELECTRO MUREŞ

ÎNTREPRINDEREA

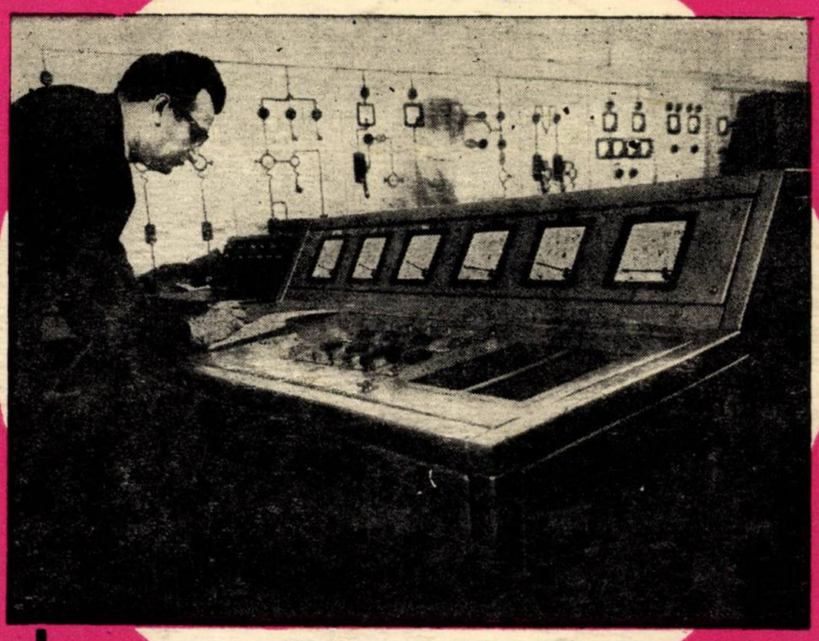
Electromureş

TÎRGU MUREŞ, str. Kossuth L. nr. 112—114. Telefon: 11817-11818-11819. Telex: 035249

INSTITUTUL DE CERCETARE SI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I

1971 DEC 06



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive.

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine.

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dv., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele?

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

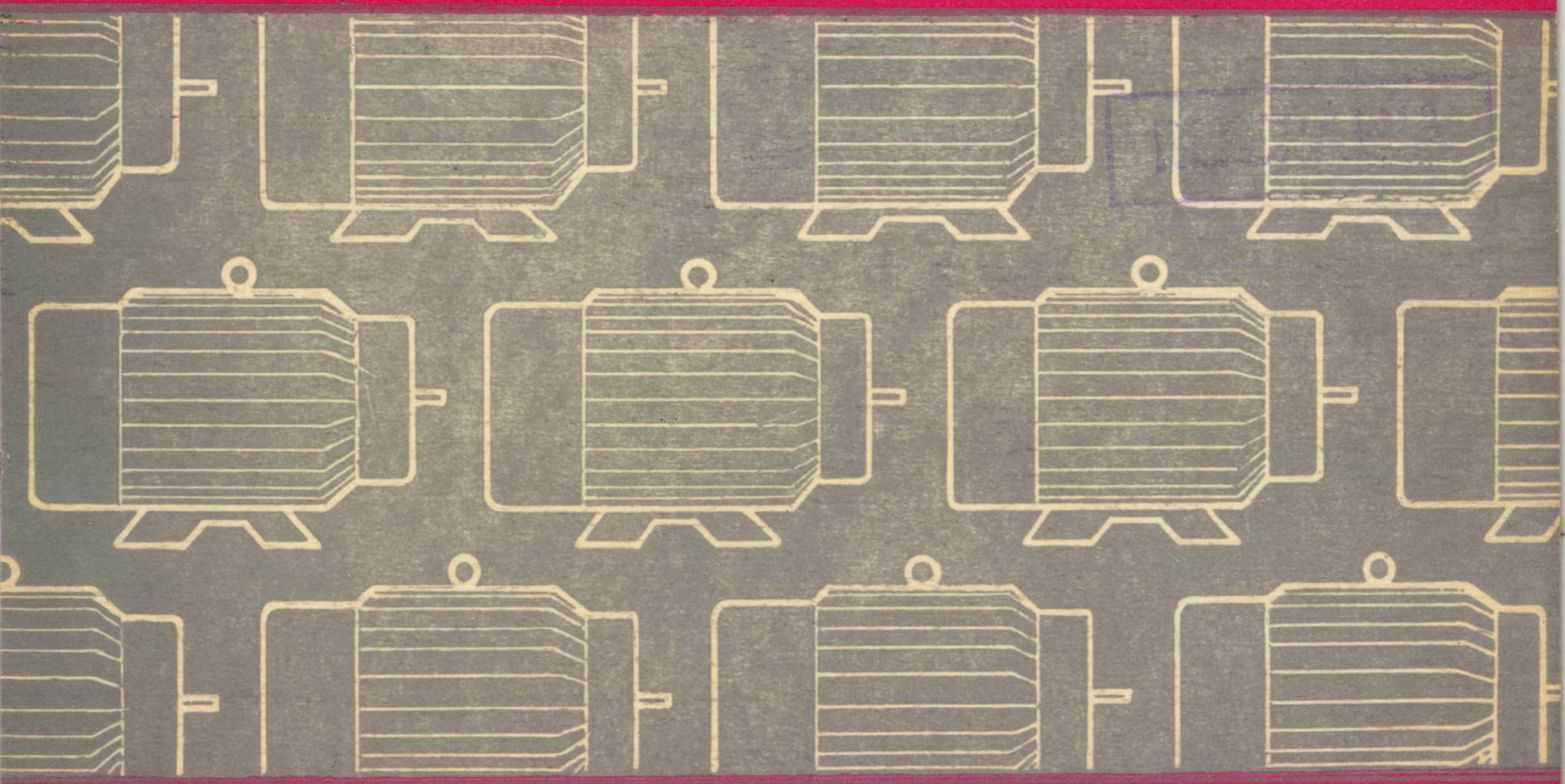
Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 de ani în activitate, care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

ICPE • București • Bd.T.Vladimirescu 45-47 • Telef. 314100

E 2040

R

ELECTROTEHNICA



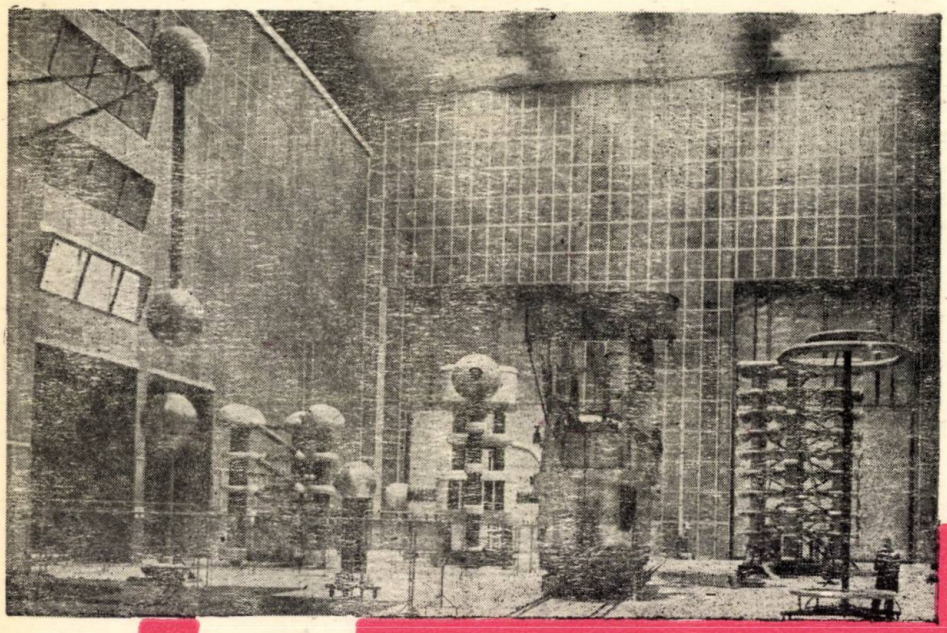
8

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 21 • Nr. 8 • AUGUST 1973

CENTRUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE ELECTROPUTERE CRAIOVA

prin noul său

LABORATOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE



conceput şi echipat modern oferă în domeniul tehnicii tensiunilor înalte următoarele servicii:

— încercări cu tensiune aplicată în gama de frecvenţe 25—150 Hz pînă la 1200 kV;

— încercări cu tensiune aplicată în curent continuu pînă la 1000 kV, 30 mA;

— încercări cu tensiune indusă în transformatoare de putere cu frecvenţă mărită 100—150 Hz, monofazat şi trifazat;

— încercări cu supratensiuni atmosferice 1,2/50 μs pînă la 2400 kV, 192 kWs;

— încercări cu supratensiuni de comutaţie 250/2500 μs, pînă la 1800 kV;

— măsurători de descărcări parţiale şi perturbaţii radio în hală ecranată electromagnetic;

— încercări asupra izolaţiei externe sub ploaie artificială;

— ridicarea caracteristicilor de răspuns ale schemelor de măsurare de înaltă tensiune (divizoare, şunturi);

— încercări pentru caracterizarea materialelor electrotehnice;

— calculul şi modelarea fenomenelor tranzitorii în transformatoare;

— studii şi cercetări pentru dezvoltarea echipamentului electrotehnic de înaltă tensiune.

Craiova, Calea Bucureşti nr. 144; telefon 21871; telex 016228

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 8, pag. 293 — 332 august 1973

CUPRINS

CZ621.3(09)(498)

Răduț, C. : **U.M.E.B. — prezență activă în țară și peste hotare.**
Electrotehnica **21**, nr. 8, august 1973, p. 293–297

Se prezintă contribuția Uzinei de mașini electrice București, prima fabrică românească de mașini electrice, aflată la cea de a 25-a aniversare, la dezvoltarea celorlalte ramuri ale economiei naționale, aportul său activ ca furnizoare pentru toate domeniile de activitate productivă.

În a doua parte a lucrării este înfățișată participarea uzinei la schimbul internațional de valori materiale în domeniul electrotehnicii precum și perspectivele dezvoltării fabricii.

CZ621.333.001.5

Nicolescu, E. : **Optimizarea dimensionării motoarelor de tracțiune pe baza performanțelor cerute vehiculelor.**
Electrotehnica **21**, nr. 8, august 1973, p. 297–303

Se arată rezultatele unui studiu mai larg, făcut în domeniul motoarelor destinate tracțiunii, studiu prezentat sub o formă generalizată pentru a se facilita larga sa aplicare. Studiul este particularizat pentru tracțiunea urbană, însă are egală aplicabilitate și la celelalte genuri de tracțiune electrică.

CZ 621.313.12.02.001.5

Bunea, V. : **Probleme de optimizare la generatorul de medie frecvență.**
Electrotehnica **21**, nr. 8, august 1973, p. 303–309

Se analizează funcționarea în sarcină a generatorului de medie frecvență de tip Guy în lumina teoriei elaborată de autor și publicată în cîteva lucrări anterioare. Se studiază funcționarea în sarcină la un factor de putere cos $\Phi = 1$ și la un factor de putere capacitiv. Se ține seama și de influența refulării fluxului magnetic către periferia tolei.

CZ 621.313.33025.3

Constantinescu, V., Cănescu, S. și *Crăciun, M.* : **Probleme privind regimurile tranzitorii ale mașinilor asinerone trifazate.**
Electrotehnica **21**, nr. 8, august 1973, p. 310–315

Se prezintă modelul matematic al motorului asincron în scurtcircuit și modelarea sa pe un calculator numeric. Rezultatele teoretice sînt comparate cu o serie de rezultate experimentale, concordanța lor fiind foarte bună. Se remarcă faptul că în cazul recuplării sau cuplării inverse imediat după o decuplare curenții sînt foarte mari și ca urmare trebuie să se țină seama de aceste regimuri în alegerea aparatajului de conectare.

CZ 621.313.333.001.13

Răduț, C. : **Probleme ale proiectării motoarelor de inducție cu poli comutabili**
Electrotehnica **21**, nr. 8, august 1973 p. 316–320

Sînt prezentate cîteva aspecte specifice ale proiectării motoarelor cu comutare de poli : alegerea coeficienților de scăpări pentru cele două viteze, dimensionarea rotorului comun, alegerea numărului de crestături pentru stator și rotor, convenabil ambelor turații. Pentru fiecare problemă în parte sînt date exemplificări și se trag concluzii practice.

CZ 621.313.8 : 621.791.75

Popescu, C. : **Perfecționarea surselor rotative pentru sudarea electrică cu arc în curent continuu**
Electrotehnica **21**, nr.8, august 1973, p. 320–324

Se arată preocupările Uzinei de mașini electrice-București, important producător al surselor de sudare, pentru îmbunătățirea continuă a performanțelor tehnico-economice ale acestora. Se prezintă evoluția generatoarelor de sudură în cadrul fabricației U.M.E.B.

CZ 658.516

Ghinăraru, M. : **Unificarea și tipizarea proceselor tehnologice de bază prin sistematizarea acestora.**
Electrotehnica **21**, nr. 8, august 1973, p. 324–326

Se urmărește unificarea și tipizarea proceselor tehnologice de bază în vederea utilizării unor concepții unitare pentru piese asemănătoare ca formă dar diferite ca dimensiuni. Prin utilizarea acestor concepții se modifică și proiectarea echipamentului tehnologic în sensul reducerii și utilizării pe grupe de piese prin universalizare și reglabilitate.

INVENȚII — INOVAȚII ● REALIZĂRI DIN INDUSTRIE ● MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE ● TEZE DE DOCTORAT

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; dr. ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; prof. ing. VL. POPOVICI; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director: 50.23.25 Redacția: București, str. Mândinești nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacție: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 3053 *Taxele poștale pentru anul 1973 plătite în cont-avans conform aprobării D.G.P. nr. 137/10078/1972*

41 400

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3(09)(498)

Рэдуц, К.: **U.M.E.B. — активное присутствие в стране и за границей**
Electrotehnica **21**, № 8, август 1973, стр. 293–297

Описывается вклад Завода электрооборудование — Бухарест, первого румынского завода электрооборудования, празднующего свое 25-летие, в развитие других отраслей национального хозяйства, его активное участие как поставщика для всех промышленных областей. Во второй части работы представлено участие завода в международном обмене материальными ценностями в области электротехники, а также перспективы развития.

ДК 621.333.001.5

Николеску, Е.: **Оптимизация размеров тяговых двигателей на основе показателей, требуемых для автомашин**
Electrotehnica **21**, № 8, агвуст 1973, стр. 297–303

Приводятся результаты более обширного исследования, проведенного в области тяговых двигателей; исследование представлено в обобщенной форме для более легкого его применения. Исследование относится к городской тяге, однако оно применимо также и для других видов электрической тяги.

ДК 621.313.12.02.001.5

Буня, В.: **Проблемы оптимизации генератора средней частоты**
Electrotehnica **21**, № 8, август 1973, стр. 303–309

Анализируется работа под нагрузкой генератора средней частоты типа Guy в свете теории, разработанной автором и опубликованной в нескольких предыдущих работах. Изучается работа под нагрузкой при коэффициенте мощности cos Ф=1 и при емкости коэффициента мощности. Учитывается также влияние нагнетания магнитного потока к периферии железных листов.

ДК 621.313.33.025.3

Константинеску, В., Кэнеску, С. и *Крэчюн, М.:* **К вопросу неустановившихся режимов трехфазных асинхронных машин**
Electrotehnica **21**, № 8, август 1973, стр. 310–315

Приводится математическая модель асинхронного короткозамкнутого двигателя и его моделирование на цифровой вычислительной машине. Теоретические результаты совпали с рядом сравнительных экспериментальных результатов. Отмечается, что в случае выключения или обратного включения сразу после выключения токи отличаются большой силой и, следовательно, необходимо учитывать эти режимы при выборе соединительной аппаратуры.

ДК 621.313.333.001.13

Рэдуц, К. **Вопросы в связи с проектированием индукционных двигателей с коммутационными полюсами**
Electrotehnica **21**, № 8, август 1973, стр. 316–320

Приводится несколько аспектов, специфических для проектирования двигателей с коммутацией полюсов: выбор коэффициентов утечки для двух скоростей, определение размеров общего ротора, выбор количества пазов для статора и ротора, соответствующего обеим скоростям. Для каждой проблемы в отдельности даются примеры и выводятся практические заключения.

ДК 621.313.8:621.791.75

Попеску, К.: **Усовершенствование источников вращения для электродуговой сварки в постоянном токе**
Electrotehnica **21**, № 8, август 1973, стр. 320–324

Показаны работы, проведенные на Заводе электрооборудование — Бухарест, главного производителя источников сварки, для непрерывного улучшения их технико-экономических показателей. Описывается эволюция сварочных генераторов в рамках U.M.E.B.

ДК 658.516

Кинэряру, М.: **Унификация и типизация основных технологических процессов путем их систематизирования**
Electrotehnica **21**, № 8, август 1973, стр. 324–326

Проведены работы по унификации и типизации основных технологических процессов в целях применения единых концепций для деталей приближенной формы, но различных размеров. В результате применения этих концепций изменяется также проектирование технологического оборудования в смысле уменьшения и использования по группам деталей путем универсализации и регулируемости.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ, НОВАТОРСТВУ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ НА U.M.E.B. ● ИЗДЕЛИЯ ТЕКУЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЗАВОДЕ ● ПРОЯВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ ГОДОВЩИНЫ ● ДОКТОРСКИЕ ДИССЕРТАЦИИ

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3(09)(498)

Răduf, C.: **U.M.E.B. — aktive Anwesenheit im Lande und über die Grenzen**

Electrotehnica **21**, H. 8, August 1973, S. 293–297

Es wird der Beitrag der „Uzina de Mașini Electrice București", die erste vor 25 Jahre gegründete rumänische Fabrik für elektrische Maschinen, bei der Entwicklung der anderen Sparten der Volkswirtschaft, sowie ihr aktiven Beitrag als Lieferenat für alle produktive Tätigkeitsgebiete angezeigt.

Im zweiten Teil der Arbeit wird die Beteiligung des Werkes beim internationalen Wechsel von materiellen Werte im Gebiete der Elektrotechnik sowie die Aussichten der Entwicklung der Fabrik dargestellt.

DK 621.333.001.5

Nicolescu, E.: **Die Optimalbemessung der Zugmotoren auf Grund der den Fahrzeuge erforderten Leistungen.**

Electrotehnica **21**, H. 8, August 1973, S. 297–303

Es werden die Ergebnisse eines umfassenden Studium im Gebiete der Zugmotoren angegeben, Studium welches in einer verallgemeinte Form dargestellt ist um seine weite Anwendung zu ermöglichen. Das Studium wendet sich besonders der städtischen Zugförderung, hat aber eine gleiche Anwenbarkeit auch für andere elektrische Fahrbetriebsarten.

DK 621.313.12.02.001.5

Bunea, V.: **Optimalgestaltungsfragen beim Mittelfrequenzgenerator**

Electrotehnica **21**, H, 8, August 1973, S, 303–309

Der Betrieb des unter Last laufendem Guy-Type Mittelfrequenzgenerators wird ins Licht der vom Verfasser ausgearbeitete und in einige früheren Arbeiten veröffentliche Theorie analysiert. Der Betrieb unter Last wird bei einem Leistungsfaktor $\cos \Phi = 1$ und bei einem Kapazitivfaktor untersucht. Auch der Einfluss der Verdrängung des magnetischen Flusses auf dem Blechumfang wird berücksichtigt.

DK 621.313.33.025.3

Constantinescu, V., Cănescu, S. und *Crăciun, M.*: **Fragen hinsichtlich der Übergangsbetriebe der Asynchrondrehstrommaschinen.**

Electrotehnica **21**, H. 8, August 1973, S. 310–315

Das mathematische Modell des Asynchronkurzschlussmotors und seine Modellierung auf einem Digitalrechner werden vorgelegt. Die theoretischen Ergebnisse werden mit einer Reihe Versuchsergebnisse verglichen; die Übereinstimmung ist sehr gut. Es wird bemerkt dass im Falle einer Umkupplung oder einer Umkehrkupplung sofort nach einer Entkupplung die Ströme sehr hoch steigen und demzufolge muss man diese Betriebe bei der Wahl der Schaltgeräte berücksichtigen.

DK 621 313.333.001 13

Răduf, C.: **Fragen der Projektierung der polumschaltbaren Induktionsmotoren**

Electrotehnica **21**, H. 8, August 1973, S. 316–320

Einige spezifische Gesichtspunkte der Projektierung der polumschaltbaren Motoren und zwar: die Wahl der Streukoeffizienten für die zwei Geschwindigkeiten, die Bemessung des gemeinsamen Läufers, die Wahl der Nutenzahl für dem Ständer und dem Läufer, passend für beide Tourenzahlen werden dargelegt. Für jede einzelne Frage werden Beispiele angegeben und praktische Schlussfolgerungen gezogen.

DK 621,313,8: 621,791,75

Popescu, C.: **Die Vervollkommung der Rotationsquellen für Lichtbogenschweissung im Gleichstrom**

Electrotehnica **21**, H. 8 August 1973, S. 320–324

Die Anstrengungen der „Uzina de Mașini Electrice București", wichtiger Erzeuger der Schweissquellen, für die fortdauernde Verbesserung derer technischen und wirtschaftlichen Leistungen werden angezeigt. Die Entwicklung der Schweissgeneratoren im Rahmen der U.M.E.B. — Fabrikation wird dargestellt.

DK 658.516

Ghinăraru, M.: **Vereinheitlichung und Typisierung der technologischen Grundprozesse durch derer Systematisierung.**

Electrotehnica **21**, H. 8, August 1973 S. 324–326

Man bezweckt die Vereinheitlichung und die Typisierung der technologischen Grundprozesse um einheitliche Auffassungen bei Formähnliche aber Abmessungsverschiede Teile anzuwenden. Durch Anwendung dieser Auffassungen ändert sich auch die Projektierung der technologischen Ausrüstungen im Sinne der Vermiderung und der Verwendung auf Gruppen von Teile durch Verallgemeinerung und Einstellbarkeit.

DIE ERFINDUNGS – NEUERUNGS – UND RATIONALLISIERUNGSTÄTIGKEIT BEI U.M.E.B. ● VORHANDENE ERZEUGNISSE BEI DER LAUFENDE FABRIKATION DES WERKES ● DOKTORARBEITEN ● WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE EREIGNISSE JAHRESTAGE

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI-UNELTE ŞI ELECTROTEHNICII ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
ÎNDRUMAREA ŞTIINŢIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 nr. 8 Bucureşti, august 1973

Număr dedicat realizărilor obținute în activitatea de producție, cercetare și proiectare la Uzina de mașini electrice — București, cu ocazia celei de a 25-a aniversări

U.M.E.B. — prezență activă în țară și peste hotare

CONSTANTIN RĂDUŢ* — Bucureşti

Profilată pe fabricaţia de maşini şi utilaje electrice speciale, Uzina de Maşini Electrice Bucureşti se găseşte în situaţia privilegiată de a primi cereri de produse din partea tuturor ramurilor economiei naţionale. În acelaşi timp, cooperează cu o serie de întreprinderi din puternicul grup industrial de care aparţine — Centrala Industrială Electrotehnică — precum şi cu alte întreprinderi constructoare de maşini în fabricarea produselor sale.

Principala beneficiară a uzinei noastre este fără îndoială industria republicană constructoare de maşini. În producţia de maşini-unelte şi agregate, în fabricaţia de compresoare şi pompe acţionate electric, în echipamentul electric al instalaţiilor de foraj, al mijloacelor de transport urbane şi feroviare, în construcţia de nave şi în multe alte utilizări industriale nu mai puţin importante, produsele U.M.E.B. constituie inima diverselor acţionări electrice.

Într-o pondere continuu ascendentă livrăm maşinile noastre, direct sau montate pe agregate complexe, industriei chimice — atît pentru sectoarele primare, de extracţie, cît şi pentru sectoarele de prelucrare superioară. Este suficient să amintim că U.M.E.B. este unica întreprindere din ţară producătoare de motoare electrice antideflagrante, rezistente la explozie, pentru a intui vastul cîmp de aplicaţie a produselor sale în rafinării şi combinate chimice.

Ca urmare a diversificării fabricaţiei acestor motoare — în prezent se produc motoare antideflagrante în clasele de explozie I-III şi pentru grupele de aprindere G1 — G4, care pot fi utilizate, în cele mai diverse medii cu pericol de inflamabilitate: metan, acetonă, benzen, benzină, ţiţei, metanol, hexan, toluen, etilenă şi produse derivate.

Industria minieră beneficiază de o serie similară de motoare antideflagrante, livrată

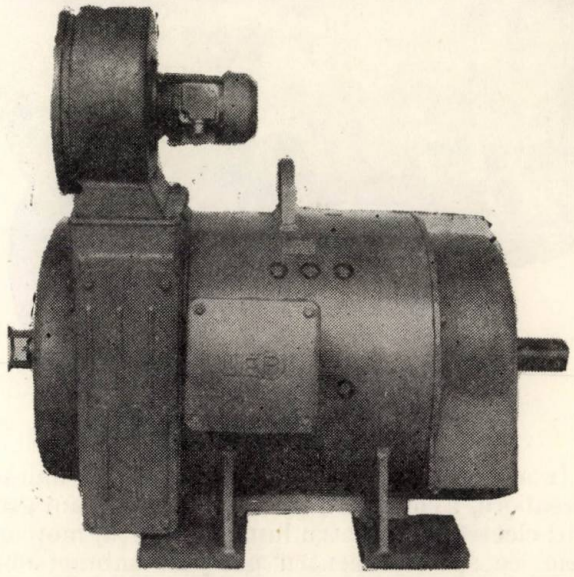


Fig. 1. Motor de curent continuu pentru strunguri Carusel de 47,8 kW, 600—1800 rot/min.

* Dr. ing. *C. Răduţ* este directorul Uzinei de maşini electrice — Bucureşti.

însă de U.M.E.B. în construcție antigrizutoasă, execuție care se distinge printr-o robustețe deosebită și o deplină siguranță în exploatare.

Pe toate șantierele țării, indiferent cărei ramuri economice aparțin, lucrează convertizoarele de sudură produse la UMEB, precum și grupuri electrogene pentru alimentări locale cu energie electrică.

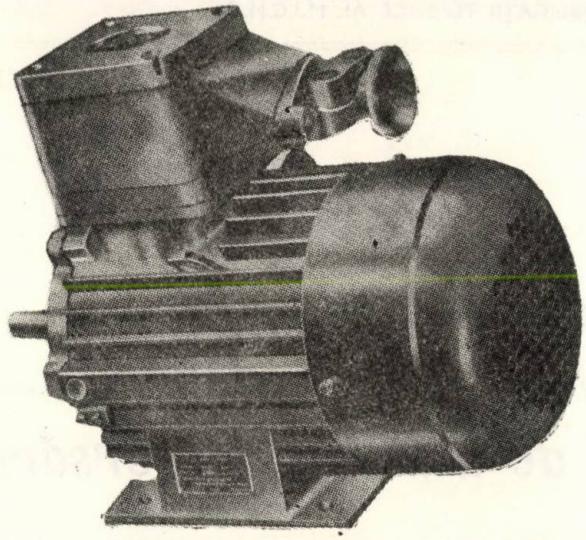


Fig. 2. Motor antiexploziv de 10 kW, 1500 rot/min

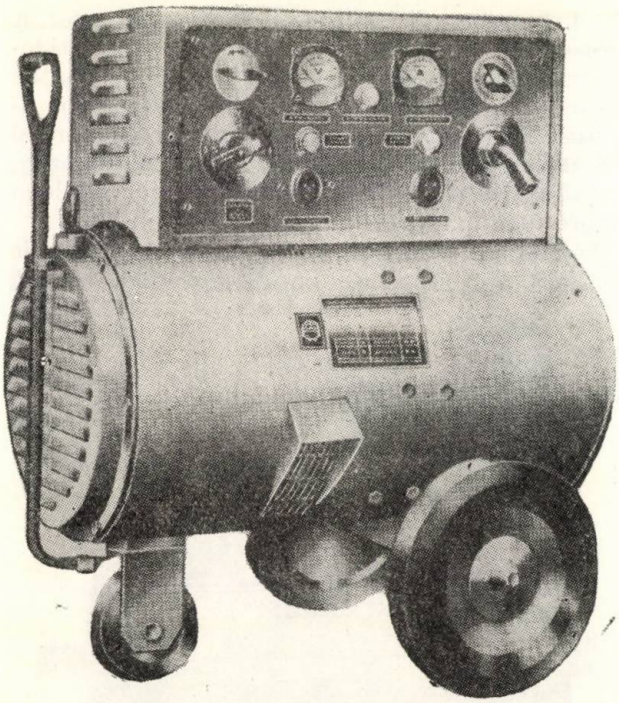


Fig. 3. Convertizor de sudură CS 350

În agricultură — și în special la marile unități cerealiere, avicole sau animaliere — livrăm grupuri electrogene pentru lumină și forță, motoare electrice speciale pentru pompele submersibile de mare adîncime care asigură alimentarea cu apă a fermelor și alte utilaje electrice.

Construcția navală folosește din producția noastră surse de sudură și motoare în execuție specială, cu una sau mai multe viteze, pentru acționări electrice ale vinciurilor și cabestanelor de pe puntea și de sub puntea navelor.

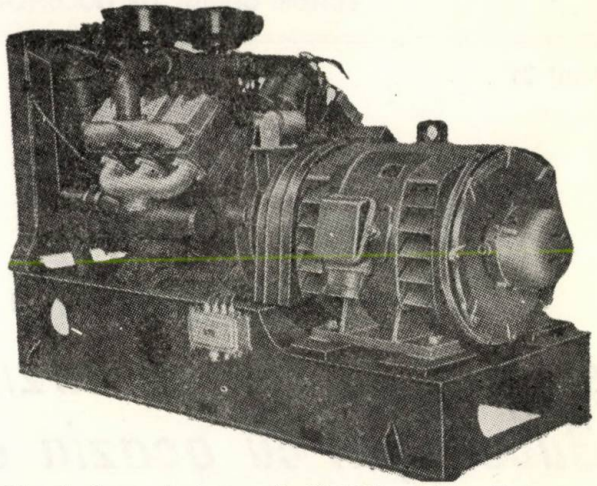


Fig. 4. Grup electrogen de 80 kVA, 1500 rot/min.

La fabricația de locomotive diesel-electrice și diesel-hidraulice UMEB contribuie cu controlerul de comandă și mașinile auxiliare destinate acționării pompelor de apă și combustibil, a ventilatoarelor, cu convertizoare sau mașini speciale cu rol dublu, cum sînt motoarele — comutatrice sau dinastarterele de pe locomotiva

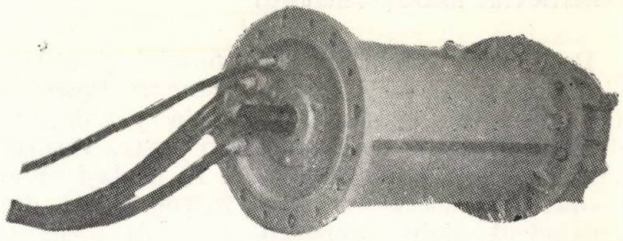


Fig. 5. Motor naval pentru cabestanul de pe puntea vaselor

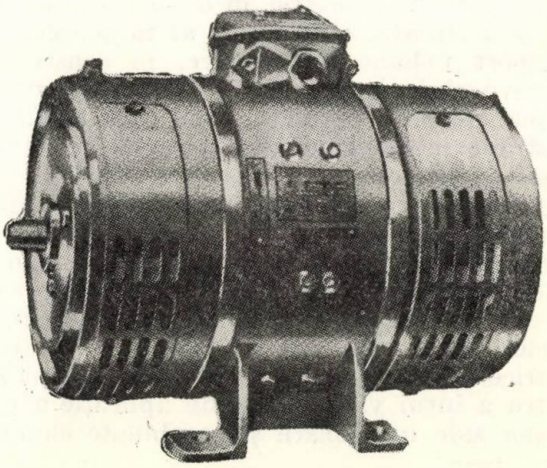


Fig. 6. Motorul de acționare a pompei de combustibil pentru LDE și LDH

diesel-hidraulică. Rămînînd în domeniul feroviar, trebuie arătat că iluminatul și încălzitul vagoanelor de călători este asigurat de generatoarele electrice fără contacte alunecătoare produse de UMEB.

Mijloacele de transport urban cu tracțiune electrică au toate motoarele electrice, atît cele principale cît și cele auxiliare, din fabricația noastră; alături de motoare livrăm pentru aceste vehicule controlerul de comandă, rezistențele de pornire și reglaj, regulatoarele de presiune etc. Chiar și pentru industria de vehicule cu motoare cu benzină producem trei tipuri de demaroare electrice.

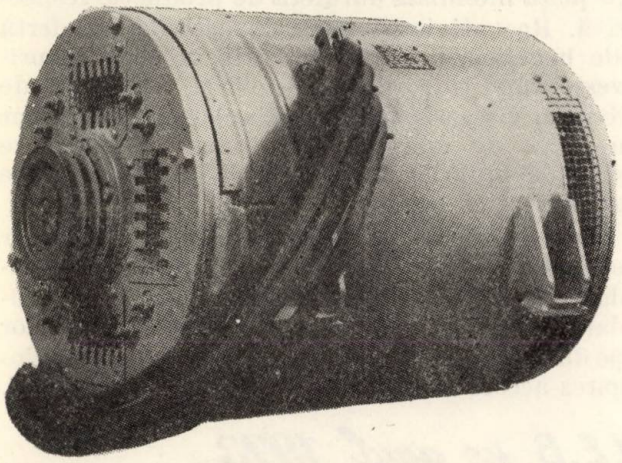


Fig. 7. Motor de tracțiune pentru troleibuze, de 77 kW, 1750 rot/min.

Acționarea electrică a podurilor rulante, a benzilor transportoare și a altor instalații de ridicat și transportat este asigurată prin motoare UMEB. O categorie aparte a acestor acționări o reprezintă ascensoarele, echipate exclusiv cu motoare UMEB, de diferite puteri, cu una sau două viteze.

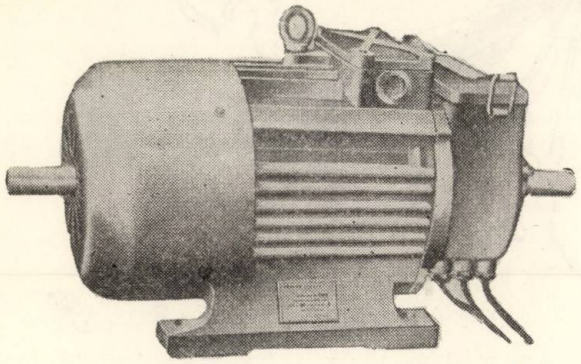


Fig. 8. Motor de macara de 32 kW, 1000 rot/min.

Fără a epuiza sortimentele unei fabricații foarte diversificate, trebuie totuși amintite convertizoarele de medie frecvență pentru topiri și tratamente termice ale metalelor, cu curenți de medie frecvență (medalia de aur la expoziția de invenții de la Viena) și seria de motoare pentru role de laminor, larg utilizată în siderurgie.

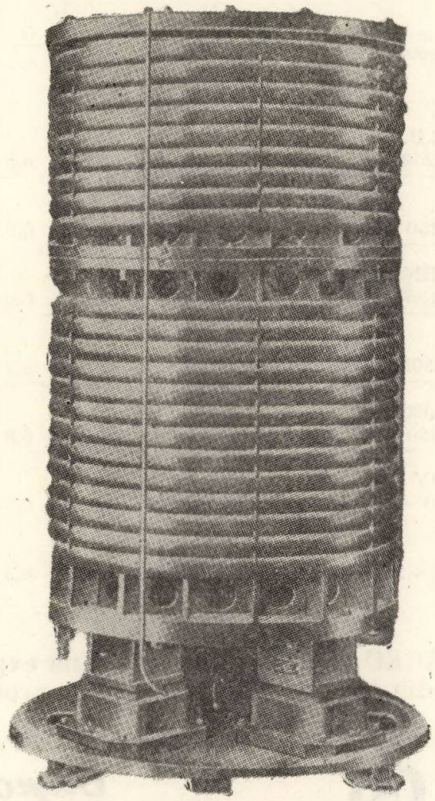


Fig. 9. Convertizor de frecvență de 110 kW, 8 000Hz, 3 000 rot/min.

Succinta prezentare de mai sus a celor peste 750 de tipodimensiuni de motoare și utilaje electrice din producția de bază a Uzinei de mașini electrice-București, întărește afirmația că nu există unitate economică pe întreg cuprinsul țării, care să nu beneficieze de produsele noastre.

Concepute în totalitate de către colectivele de constructori, tehnologi și cercetători ai uzinei, produsele UMEB se disting printr-un grad ridicat de competitivitate, atît sub aspect tehnic, cît și economic. Prin parametrii lor de funcționare și siguranța în exploatare, mașinile corespund cerințelor principalelor standarde și norme internaționale, ele putînd fi oferite potrivit condițiilor tehnice din aceste prescripții. O largă activitate experimentală și de cercetare uzinală, efectuată pe standuri de probă cu o dotare modernă, vine să confirme calitatea funcțională și fiabilitatea produselor UMEB. Adăugînd la acestea faptul că majoritatea mașinilor și utilajelor electrice fabricate, se înscriu în dimensiunile standard, normalizate pe scară internațională, (tabela 1,) că greutățile lor specifice exprimate în kg/kW sînt comparabile cu ale echipamentului similar fabricat de firme cu tradiție ca AEG, Siemens, ASEA, Leroy,

Tabela 1

Comparație tehnico-economică a motorului asincron trifazat de 55 kW/1500 rot/min.

Producătorul și tipul motorului	Randament η, %	Factor de putere cos φ	$\frac{M_p}{M_n}$	$\frac{I_p}{I_n}$	Greutatea specifică kg/kW
U.M.E.B. ASI—250.M.65—4	92	0,86	2,6	6,8	7,65
A.E.G. AM—250 M4	93	0,88	2,8	6,5	8,40
SIEMENS IPA. 4253—4AO	93	0,88	1,8	6,0	8,30
ACEC Ak—250M. 24	92,5	0,87	1,8	6,2	9,10
UNELEC TN—250—MW	91	0,88	1,9	6,8	8,70
LEROY F—250—M2	92,5	0,89	2	6,5	10,40
CEM MJUG—250.M.4	92,5	0,89	2,1	6,5	9,10

CEM, ACEC etc., rezultă de la sine explicația cererii, din ce în ce mai însemnate, a produselor UMEB pe piața externă.

Ponderea exportului direct atinge 30% din producția de bază, această valoare prezentînd creșteri însemnate, ca și aria răspîndirii externe a produselor noastre, dacă se are în vedere exportul indirect prin intermediul altor întreprinderi constructoare de mașini și utilaje complexe din țară.

Evoluția ascendentă a cererii de produse UMEB pe piața externă se datorează într-o bună măsură, în afara competitivității tehnico-economice, înțelegerii de către colectivul nostru a unei probleme deosebit de importante și anume faptul că nu este suficient să oferi ceea ce produci, ci să execuți ceea ce se solicită pe piața mondială din sfera de producție respectivă. Receptivitatea față de cererile de ofertă ale beneficiarilor externi, atît în ceea ce privește condițiile tehnice — cît și termenele de livrare, viteza sporită de asimilare a produselor noi sau de adaptare a produselor existente stau de mult la baza acțiunii de diversificare a fabricației noastre.

O confirmare a corespondenței mașinilor electrice UMEB la cerințele complexe ale standardelor de circulație internațională — și totodată o facilitate pentru desfacerea produselor pe diferite piețe — o constituie atestarea, omologarea acestora de către institute de specialitate,

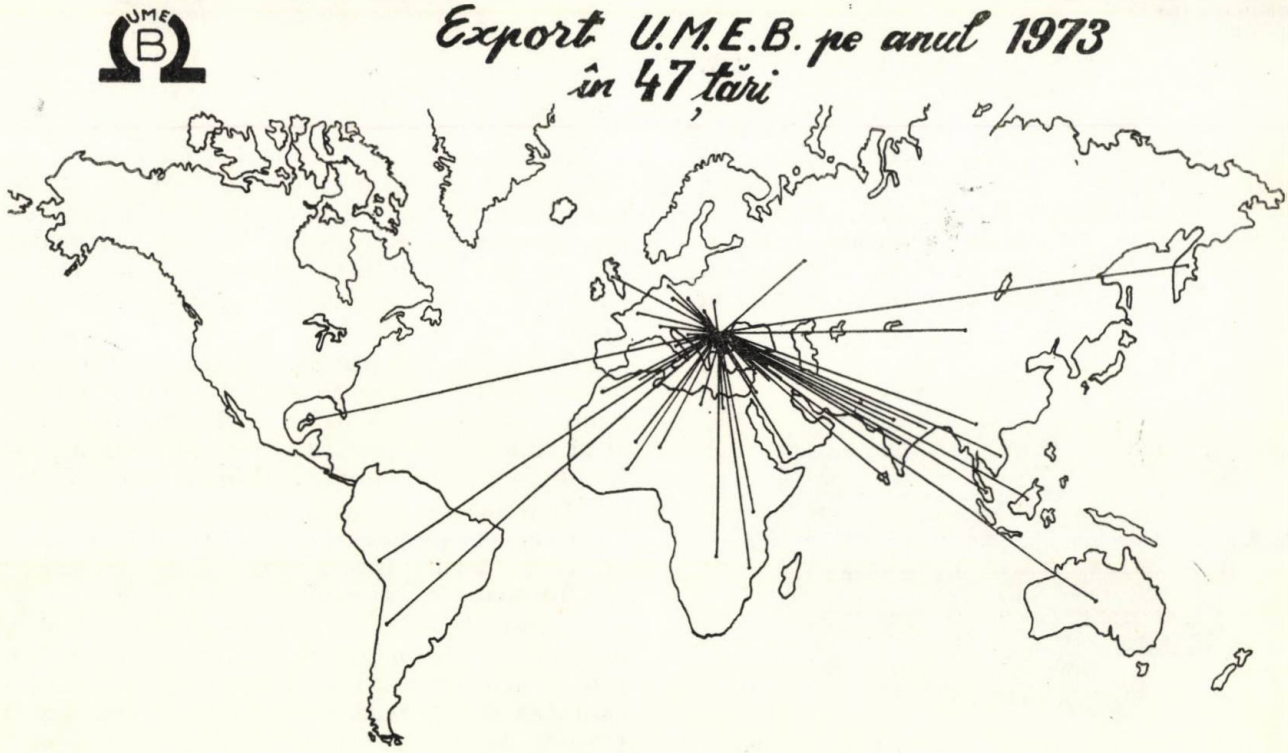


Fig. 10. Răspîndirea exportului UMEB.

În prezent uzina exportă în 47 de țări ale lumii, de pe toate continentele, produse de o mare diversitate, răspunzînd unor condiții de funcționare și de mediu climatic foarte variate. de o înaltă ținută științifică, din străinătate. De exemplu, seria de motoare antideflagrante, antiexplozive și antigrizutoase, a fost atestată în diferite etape de către Stațiile experimentale

și institutele de specialitate din URSS, R.D. Germană și R.F. Germania. Motoarele pentru role de laminor au primit viza de calitate în Anglia; convertizoarele de sudură au fost încercate și omologate de institutele de cercetări din R.D. Germană, R.S. Cehoslovacă și Elveția (firma Oerlikon); convertizoarele de medie frecvență de 8000 și 2500 Hz sînt atestate de laboratoarele de specialitate din R.D. Germană; în fine motoarele navale au girul de prestigiu al Registrului Naval Sovietic. Desigur, aceste realizări oglindesc și activitatea fructuoasă de experimentări și omologări pe care uzina o efectuează de mulți ani în cooperare cu Institutul de cercetări și proiectări electrotehnice din București.

Toate aspectele semnalate mai sus au condus, în mod firesc, la trecerea de la un export întîmplător la relații comerciale stabile, de lungă durată, bazate pe încredere reciprocă și orientate bilateral spre creșterea eficienței relațiilor respective. Exemplul cooperării dintre UMEB și firma VEB Inducal Göllingen din R.D. Germană — specializată în fabricația instalațiilor pentru topirea metalelor și tratamentelor termice — este semnificativă în acest sens. UMEB livrează aproape întreg necesarul de surse de curent de medie frecvență pentru alimentarea instalațiilor arătate mai sus, instalații care se exportă în diverse țări. Încă de anul trecut sînt încheiate contracte de livrări pînă în 1975 către partenerul extern, iar în luna aprilie 1973 au fost fundamentate planurile cadru de livrări pentru etapa 1976—1980. Mai important este însă faptul că se studiază în comun problemele cererii pieții, ale dezvoltării tehnice în domeniul respectiv, ceea ce permite ținerea pasului sub aspectul competitivității. S-au stabilit noi tipuri de convertizoare de medie frecvență, care vor fi asimilate, au fost puse la punct aspectele tehnice ale diversificării tipurilor existente (puteri, tensiuni de alimentare de la rețea, tensiuni de lucru).

Relații stabile și în continuă creștere avem cu firme de comerț exterior din U.R.S.S. și R.P. Chineză pentru motoare, din R.P. Bulgaria și R. S. Cehoslovacă pentru convertizoare de sudură, cu firme din R.F. Germania, Italia, Franța, Danemarca, Austria, Turcia, Grecia, Liban, Egipt, Iran, Pakistan și altele pentru motoare electrice, convertizoare de sudură, generatoare sincrone și grupuri electrogene.

Beneficiind de o dezvoltare impetuoasă, caracteristică ritmurilor înalte ale creșterii producției electrotehnice din țara noastră (practic și-a dublat producția în fiecare cincinal), UMEB are în față perspectiva unei creșteri cantitative și perfecționări tehnice fără precedent. Profilîndu-se în continuare ca o uzină de mașini electrice speciale, cu o producție foarte diversificată, în serii mijlocii de fabricație, ea va trebui să se remarce printr-o mare viteză de asimilare a produselor noi, în baza unei profunde activități de modernizare și de tipizare de repere și subansamble, de aplicare a unor tehnologii de grup eficiente pentru o producție cu număr ridicat de tipodimensiuni.

Contribuind ca și pînă acum la sporirea gradului de integrare a utilajelor și agregatelor complexe, care se execută de către industria constructoare de mașini din țara noastră, prin asimilarea unor motoare și echipamente electrice cu grad sporit de tehnicitate, U.M.E.B. își va aduce contribuția la sporirea aportului valutar în industria constructoare de mașini, prin cea de a doua cale principală — și anume diminuarea importurilor de mașini electrice speciale.

La un sfert de veac de activitate ca întreprindere socialistă cu profil electrotehnic, colectivul de aproape patru mii de salariați ai Uzinei de mașini electrice București își strînge și mai mult rîndurile, mobilizîndu-se pentru îndeplinirea și depășirea sarcinilor deosebite încredințate de conducerea de partid și de stat.

Intrat în redacție la 15.V.1973

Optimizarea dimensionării motoarelor de tracțiune pe baza performanțelor cerute vehiculelor

EUGENIU NICOLESCU*—București

CZ 621.333.001.5

Optimizarea proiectării în construcția mașinilor electrice este o practică ce și-a arătat avantajele atît în domeniul economic, cît și în cel al caracteristicilor tehnico-funcționale.

Pentru realizarea optimizării se iau în considerație elementele comune tuturor mașinilor electrice, sau cele specifice diferitelor tipuri de mașini [5], felul mașinii etc., în funcție de destinația acestora.

Forma constructivă a actualelor motoare de tracțiune nu mai seamănă prea mult cu cea a fostelor motoare [3]. Astfel, în prezent, s-a recurs la unele soluții noi, cum ar fi statoarele realizate din tole (obținîndu-se, în construcția monobloc, jugul stator și polii principali). În cadrul polilor principali se găsesc crestături închise, în care se plasează bobinajul de compensație, realizat într-o tehnologie specială. La motoarele tetrapolare polii nu mai sînt așezați geometric, după cele două bisectoare, ci chiar pe axele

* Ing. E. Nicolescu este șeful atelierului de proiectare produse noi — prototipuri la UMEB

orizontale şi verticale, iar pentru a se asigura spaţiul necesar plasării portperiilor, acestea se aşează geometric, pe axa polilor auxiliari şi nu pe cea a polilor principali. Pentru ca acest lucru să fie posibil, bobinajul rotoric are o formă constructivă deosebită.

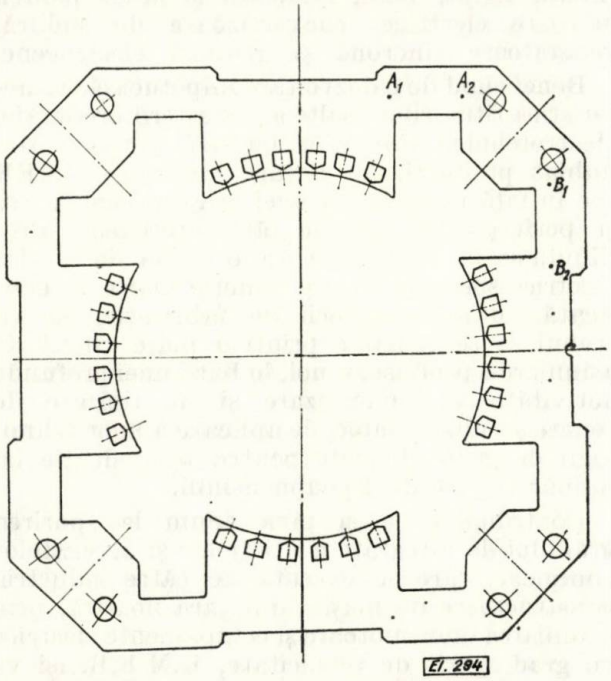


Fig. 1. — Tolă stator pentru motoare de tracţiune.

În figura 1 este reprezentată geometria tolei stator, asupra căreia se vor face cîteva precizări legate de concluziile studiului. Constructorii de motoare de tracţiune ştiu că, alături de dinţii rotorici, jugul stator (carcasa) este elementul ce conduce la puternica saturare a caracteristicii de magnetizare la aceste motoare. Geometria tole stator (fig. 1) vine să soluţioneze acest neajuns, în sensul că lungimea liniilor de cîmp, în porţiunea saturată a jugului, este extrem de mică în comparaţie cu construcţiile obişnuite (porţiunile A_1-A_2, B_1-B_2 etc. din figura 1). La aceasta contribuie forma dreaptă a polului principal (a dispărut separarea polului în cele două părţi : talpa şi miezul acestuia) şi prezenţa unei porţiuni larg dimensionate a jugului, în dreptul unde se aşează polul auxiliar. Toate acestea fac ca bobinajele stator să aibă şi ele construcţii diferite de cele practicate anterior. De exemplu, bobinele polilor princpali sînt foarte plate, iar cele de compensaţie sînt realizate astfel încît să poată fi bobinate în crestături închise.

La rotor se urmăreşte optimizarea dimensiunilor crestăturilor sale astfel, încît tensiunea magnetică în dinţi să fie minimă, pentru o valoare dată a fluxului ce-i străbate. În tabela 1 sînt date dimensiunile a trei crestături dimensionate pentru aceeaşi maşină, în care s-a ales

Tabela 1

Crestătură nr.	1	2	3
Dimensiuniele conductorului mm	1,12×9	1,32×7,5	1,6×6,3
Secţiunea conductorului, mm²	9,87	9,68	9,87
Lăţimea crestăturii, mm	9,6	10,6	12
Înălţimea crestăturii, mm	46	40	35
Raportul $\frac{h_{cr}}{b_{cr}}$	4,7	3,78	2,9

aceeaşi densitate de curent, deci secţiunea conductorilor este, practic, egală — ele avînd aceleaşi dimensiuni ale izolaţiei (tensiune de izolaţie 750 V), însă cu raport diferit între laturi, ceea ce conduce la dimensiuni diferite ale crestăturii (implicit la valori diferite ale raportului h_{cr}/b_{cr}).

Asociind aceste crestături cu un rotor avînd diametrul exterior de 327 mm şi numărul de crestături 41, se obţin datele din tabela 2 cu privire la magnetizarea dinţilor. Ca material magnetic s-a considerat oţel electrotehnic de calitate EIII, iar pentru crestătura numărul 2, tablă laminată la rece (calitatea DK66). Pentru aceeaşi valoare a inducţiei B în întrefier, tensiunea magnetică este minimă, în cazul crestăturii numărul 2. Se remarcă, de asemenea cît de importantă este folosirea tablei laminate la rece pentru obţinerea unor dimensiuni minime la motoarele de tracţiune.

Tabela 2

	Nr. crestături	Calitatea materialului	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
$B_{d\,max}$	1	—	16100	19300	22500	25700	28900
	2	—	16190	19428	22666	25904	29142
		—	16190	19428	22666	25904	29142
	3	—	17500	21000	24500	28000	31500
$H_{d\,med}$, As	1	E III	14,1	53,3	168	407	830
	2	E III	15,5	57,8	182	450	938
		DK 66	4,55	29,5	139	350	686
	3	E III	31	102	312	680	1270
$2F_d$, As/c	1	E III	130	490	1530	3740	7600
	2	E III	124	463	1455	3600	7500
		DK 66	37	236	1112	2800	5488
	3	E III	217	713	2180	4760	8880

Rezultă deci, că în dimensiunea rotorului, din punct de vedere al tensiunii magnetice, se realizează optimizarea pentru un raport al

înălțimii și lățimii crestăturii de aproximativ 3,8. Evident, acest optim trebuie calculat pentru fiecare caz în parte, analizînd toate conductoarele standardizate care asigură densitatea de curent necesară și conduc la valori ale raportului h_{cr}/b_{cr} în plaja 2,5...5.

Cele arătate mai sus se referă la optimizarea geometriei transversale (nu s-a precizat încă nimic în legătură cu valoarea întrefierului, care de asemenea, afectează această geometrie transversală). Mai importantă decît aceasta este optimizarea geometriei longitudinale, deoarece ea influențează mult parametrii economici (consumurile de materiale depind de lungimea pachetelor de tole) și condiționează caracteristicile de funcționare ale motoarelor de tracțiune.

Caracteristica de magnetizare poate avea o infinitate de forme, plecînd de la forma sa liniară, cînd saturația fierului este neglijabilă și pînă la forma sa foarte aplatizată. Rezultă o restrîngere a acestor forme, atunci cînd caracteristicile se reprezintă în unități relative (fluxul Φ se raportează la fluxul nominal Φ_n, corespunzător funcționării la plin cîmp, tensiunea și curentul nominal, iar solenația de excitație θ_e se raportează la solenația θ_{en} care asigură fluxul nominal mai înainte precizat). În figura 2 sînt reprezen-

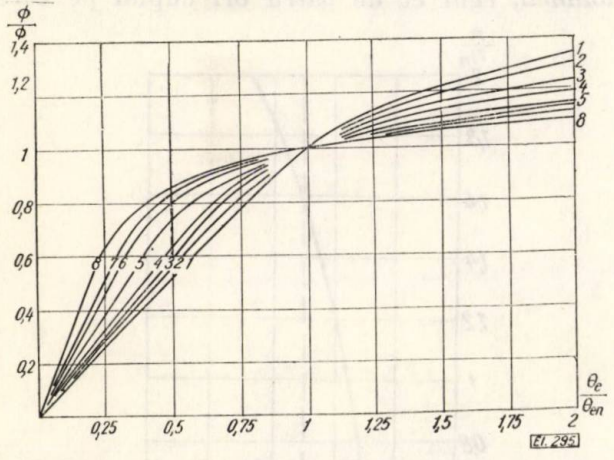


Fig. 2. — Caracteristici tip de magnetizare.

tate un număr de opt caracteristici de magnetizare, acoperind întreg domeniul pe care îl pot avea asemenea caracteristici în practică. În tabela 3 sînt date valorile fluxurilor pentru cîțiva din curenții considerați. Cu ajutorul acestor caracteristici de magnetizare se pot determina caracteristicile $n = f(I)$ pentru orice tip de motor. Determinarea s-a făcut alegîndu-se valorile t.e.m. precizate în tabela 4 raportate la tensiunea nominală; ele sînt reprezentate în figura 3.

Porțiunea corespunzătoare curenților superiori celui nominal prezintă interes pentru dimensionarea treptelor din cadrul rezistențelor de pornire; în legătură cu aceasta se precizează

Tabela 3

Caracteristica tip	θ_e/θ_{en} \ Φ/Φ_n	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2
	1	0,258	0,515	0,777	1	1,22	1,34
	2	0,274	0,55	0,8	1	1,18	1,31
	3	0,296	0,592	0,85	1	1,15	1,23
	4	0,32	0,64	0,88	1	1,13	1,19
	5	0,376	0,73	0,9	1	1,09	1,16
	6	0,46	0,81	0,92	1	1,08	1,15
	7	0,5	0,825	0,94	1	0,07	1,14
	8	0,63	0,87	0,95	1	1,065	1,13

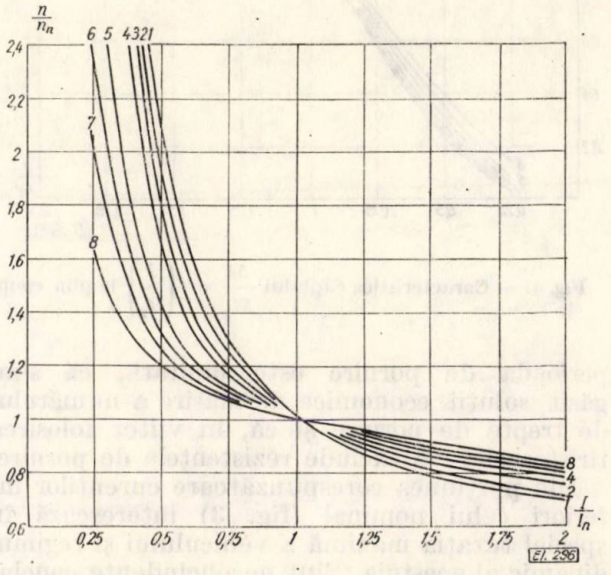


Fig. 3. — Caracteristica turației $\frac{n}{n_n} = f\left(\frac{I}{I_n}\right)$ la plin cîmp.

Tabela 4

$\frac{I}{I_n}$	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2
$\frac{E}{U_n}$	0,995	0,97	0,955	0,94	0,91	0,88

că, în cazul unei curbe mai căzătoare, rezultă trepte mai puține. Apar favorabile caracteristicile notate cu cifrele mici, dar obținerea lor înseamnă cheltuieli suplimentare în construcția motorului (circuit magnetic nesaturat, deci lungime a mașinii mai mare), care adesea nu pot fi compensate de economiile ce rezultă din alegerea controlerului sau a contactoarelor ce se folosesc pentru pornire. Consumul de energie în procesul de accelerare este mai mic, în cazul caracteristicei 1—2—..., deoarece,

așa cum rezultă din figura 4, la curenți egali se asigură cupluri mai mari. Aceste avantaje ar trebui analizate, avîndu-se în vedere că

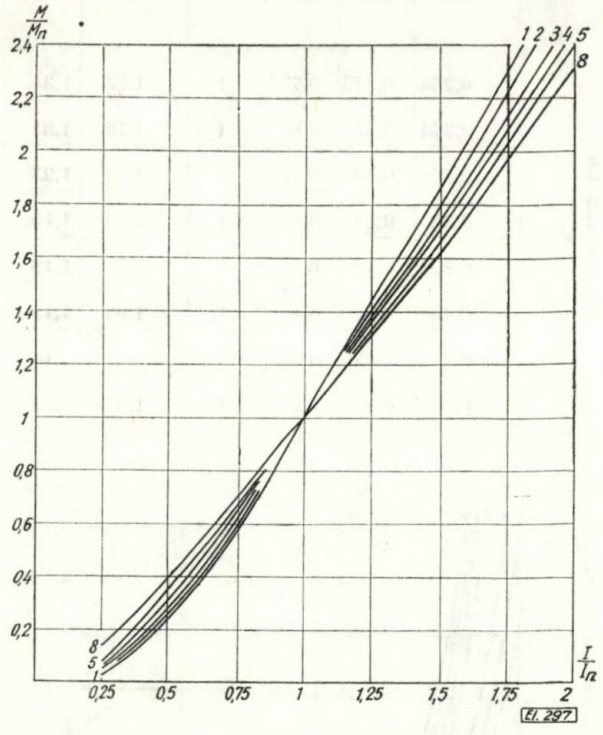


Fig. 4. — Caracteristica cuplului $\frac{M}{M_n} = f\left(\frac{I}{I_n}\right)$ la plin cîmp.

perioada de pornire este limitată, că s-au găsit soluții economice de mărire a numărului de trepte de pornire și că, în viitor folosirea tiristoarelor va exclude rezistențele de pornire.

Din porțiunea corespunzătoare curenților inferiori celui nominal (fig. 3) interesează în special turația maximă a vehiculului și regimul dinamic al acestuia. Sînt neconcludente concluziile pe aceste teme dacă ele se bazează pe caracteristicile $n = f\ (I)$. Este necesar să se examineze și caracteristicile $n = f\ (M)$ prezentate în figura 5 folosind valori relative.

Într-adevăr calcularea vitezei maxime a vehiculului necesită cunoașterea caracteristicii forței de tracțiune, în funcție de viteza vehiculului. Trebuie arătat că adesea se procedează greșit, determinînd viteza maximă a vehiculului, în funcție de viteza maximă pe care constructorul motorului o impune ca limită pentru acesta, fără a se verifica în ce măsură la acea viteză motorul asigură forța de tracțiune necesară.

Scopul acestui articol nu este prezentarea și analiza metodelor de calcul [4] sau determinarea caracteristicii forței de tracțiune în funcție de viteza vehiculului (există legături biunivoce între forța de tracțiune și cuplul motorului și între vitezele motorului și ale vehiculului). Această caracteristică, transpusă în planul caracteristicii $n = f\ (M)$ a motorului (fig. 5), se apropie destul de mult de o verticală. Pentru studiul ce se prezintă s-a considerat această caracteristică, ca fiind verticală, coresunzînd valorii $M = 0{,}25\ M_n$. Această valoare corespunde situațiilor mai des întîlnite, existînd posibilitatea ca un vehicul să fie echipat cu un motor, a cărui putere să fie mai mare sau mai mică decît cea corespunzătoare unui cuplu nominal, egal cu de patru ori cuplul pe care

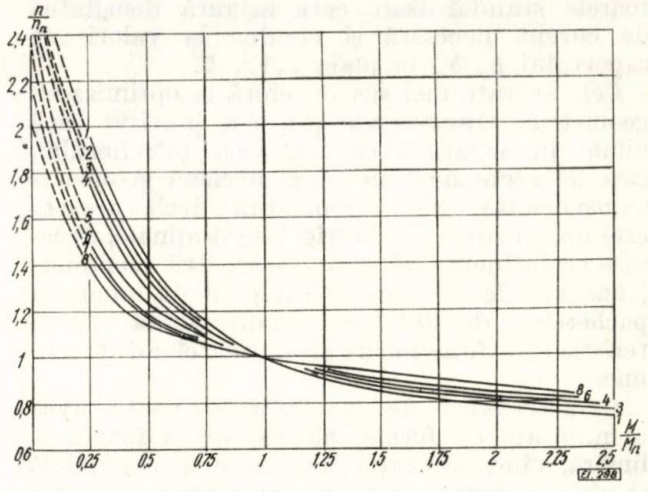


Fig. 5. — Caracteristica turației $\frac{n}{n_n} = f\left(\frac{M}{M_n}\right)$ la plin cîmp.

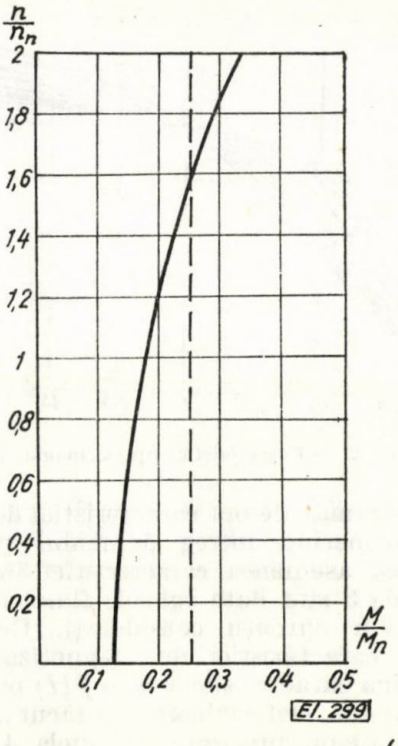


Fig. 6. — Caracteristica vehiculului $\frac{n}{n_n} = f\left(\frac{M}{M_n}\right)$

îl necesită el la viteza stabilizată. De acest lucru se va ține seama în analiza fiecărui caz concret. Pentru prezentarea completă a lucrării, în figura 6 s-a reprezentat, alături de această

caracteristică idealizată, și cea calculată pentru tramvaiul tip V 3 A, care a intrat recent în fabricația atelierelor I.T.B.

Folosind caracteristica „idealizată" $M = 0{,}25\ M_n$ se constată, din figura 5, că motoarele corespunzînd caracteristicii 1 au turația maximă de aproape 2 ori mai mare decît cea nominală, pe cînd cele corespunzătoare caracteristicii 8 au această turație maximă de numai 1,4 ori mai mare. Deoarece rațiunea principală a folosirii motorului serie pentru vehicule apare din existența unei caracteristici suple, atunci cînd motorul lucrează fără slăbirea cîmpului, se preferă motoarele care asigură caracteristici tip 1 (cel mult 2), adică punctul corespunzător regimului nominal să se afle la începutul cotului caracteristicii de magnetizare. Realizarea motoarelor cu caracteristici tip 1 are însă dezavantaje economice, atît în cadrul fabricației propriuzise a motorului, cît și în exploatarea vehiculului.

În fabricație apare necesar un volum mai mare pentru circuitul electromagnetic (deci, consumuri mai mari de materiale), iar în exploatare performanțele dinamice ale vehiculului sînt limitate.

S-a recurs la soluția motoarelor cu slăbirea cîmpului [2], soluție ce permite să se realizeze motoare cu volum specific mai redus și care asigură vehiculelor performanțe superioare (viteze maxime sporite). La aceste motoare solicitările magnetice la plin cîmp sînt ridicate, iar prin slăbirea cîmpului se asigură o viteză maximă sporită. Deoarece, cel mai adesea, se practică slăbiri pînă la 50% din cîmpul plin, se vor prezenta caracteristicile și pentru acest caz limită. Figura 7 conține caracteristicile

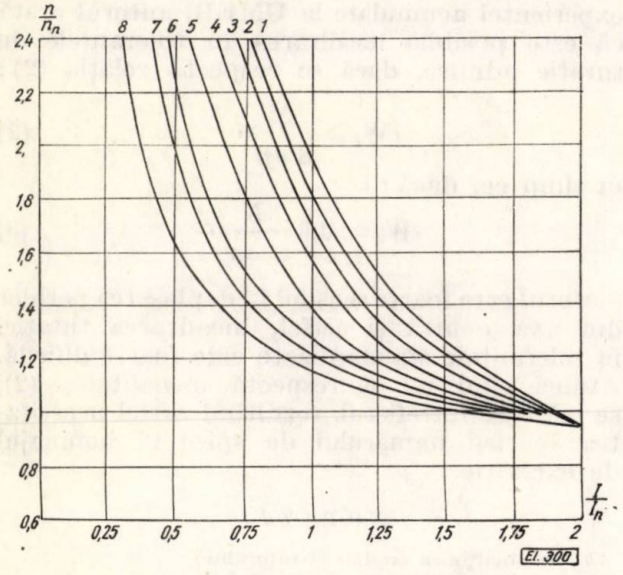


Fig. 7. — Caracteristica turației $\frac{n}{n_n} = f\left(\frac{I}{I_n}\right)$ la cîmp slăbit 50%.

turației, în funcție de curentul absorbit de motor pentru cîmp slăbit în proporție de 50%. Cum era de așteptat motoarele cu caracteristicile tip 1 au vitezele cele mai mari, iar cele cu caracteristicile tip 8, vitezele cele mai mic, bineînțeles pentru același curent. Se mai remarcă, de asemenea faptul că la curentul $I = 2\ I_n$, independent de forma caracteristicii de magnetizare, motoarele au aceeași turație, deoarece ele au fost dimensionate astfel, ca la plin cîmp turația lor nominală să fie egală pentru $I = I_n$. Așa cum s-a arătat, mai edificatoare pentru performanțele vehiculului sînt catacteristicile turației în funcție de cuplu (ele sînt reprezentate în figura 8 pentru cîmp slăbit în proporție de 50 %).

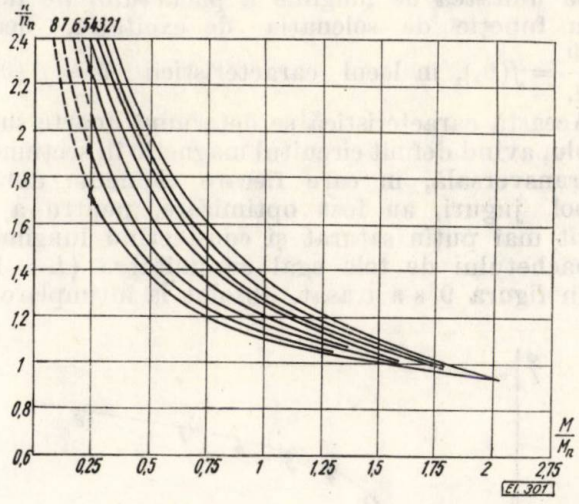


Fig. 8. — Caracteristica turației $\frac{n}{n_n} = f\left(\frac{M}{M_n}\right)$ la cîmp slăbit 50%.

Alegînd ca viteză maximă $n_{max} = (2{,}2 \ldots 2{,}4)\ n_n$ se constată că numai motoarele cu caracteristicile tip 1, 2, 3, 4, și 5 asigură cuplul $M = 0{,}25\ M_n$, sau mai mare, la aceste viteze. Se atrage atenția că, de obicei, se alege turația maximă egală cu de două ori turația nominală corespunzătoare slăbirii nominale de cîmp (care cel mai adesea este de 0,8—0,9) ceea ce echivalează cu de 2,4 ori turația nominală, corespunzătoare lui I_n la cîmpul plin.

În general, vehiculele nu sînt echipate cu elemente care să asigure limitarea vitezei maxime și, deci, trebuie corelate caracteristicile motorului cu cele ale vehiculului, astfel încît motorul să nu poată depăși viteza maximă garantată de constructor. La viteze sporite față de viteza maximă, motorul trebuie să poată dezvolta numai cupluri mai mici decît cele necesare vehiculului pentru atingerea acestor viteze. Din acest punct de vedere cele mai indicate sînt caracteristicile tip 4 și 5. Rezultă cea mai importantă concluzie a studiului și anume: dacă motorul este prevăzut cu slăbirea

cîmpului pînă la 50%, iar viteza sa maximă este cuprinsă în plaja 2,2...2,4, față de turația corespunzătoare la cîmpul plin, atunci caracteristica de magnetizare a motorului trebuie să fie apropiată de caracteristicile de tip 4 și tip 5. Dacă se solicită alte performanțe, de exemplu, viteze maxime mai reduse sau mai ridicate, se procedează similar, determinîndu-se tipul de caracteristică ce asigură aceste performanțe. Mai rămîne de indicat cum se realizează optimizarea longitudinală sau, altfel spus, cum se procedează pentru a se realiza practic o anume caracteristică tip ce s-a stabilit a fi necesară. Abandonînd metodicile clasice de proiectare [6], se calculează caracteristica de magnetizare pentru fluxul pe unitatea de lungime a pachetului de fier, în funcție de solenația de excitație, deci, $\frac{\Phi}{L} = f(\theta_e)$, în locul caracteristicii $\Phi = f(\theta_e)$. Această caracteristică se determină foarte simplu, avînd definit circuitul magnetic în secțiunea transversală, în care fiecare element: dinte, pol, juguri, au fost optimizate, pentru a fi cît mai puțin saturat și considerînd lungimea pachetului de tole egal cu unitatea ($L = 1$). În figura 9 s-a trasat, absolut la întîmplare o

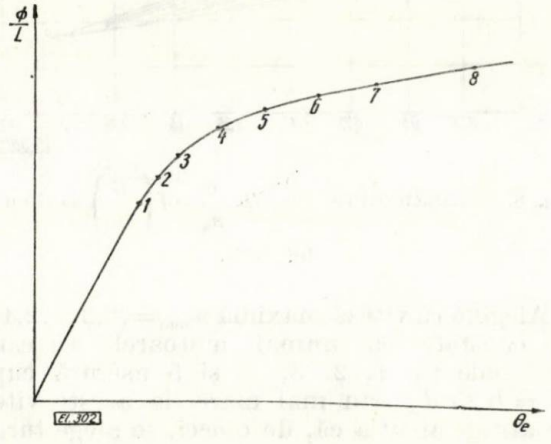


Fig. 9. — Caracteristica de magnetizare $\frac{\Phi}{L} = f(\theta_e)$.

asemenea caracteristică și printr-un simplu calcul iterativ s-au determinat punctele de pe această curbă, care asigură caracteristici de tip 1, 2, 3,... Pentru aceasta s-a procedat astfel: s-a ales, la întîmplare un punct, rezultînd astfel valorile lui $\frac{\Phi_n}{L}$ și θ_{en}; s-au determinat fluxurile pentru 0,25 θ_{en}; 0,5 θ_{en} etc. și s-au comparat valorile raportate ale acestora cu valorile din tabela 3 sau figura 2, pentru tipul de caracteristică ales. Punctul arbitrar ales, se deplasează la stînga sau la dreapta, în funcție de caracteristica obținută, raportată la caracteristica tip dorită. Determinînd valoarea $\left(\frac{\Phi_n}{L}\right)$ pentru care se asigură caracteristica tip prestabilită, se determină cu relația (1), lungimea pe care trebuie să o aibă rotorul, astfel încît să se asigure această caracteristică tip.

$$L = \frac{60\, a(U_n - RI_n)}{pnN\left(\frac{\Phi_n}{l}\right)} 10^8 \qquad (1)$$

S-a amintit foarte puțin despre valoarea întrefierului. În condițiile în care există bobinaj de compensație pe stator, și astăzi tot mai multe motoare pentru tracțiune se realizează cu asemenea bobinaje, relațiile clasice de determinare a întrefierului [1] nu mai au suport științific. În asemenea cazuri întrefierul ar fi condiționat numai de considerente mecanice. Poate să apară o situație ce nu este sesizată pînă acum în literatura tehnică. Din considerente cunoscute, se cere ca turațiile motorului, într-un sens și altul, să aibă valori foarte apropiate și să se înscrie, față de caracteristica garantată, în limitele foarte strînse (4% la plin cîmp și 5% la cîmp slăbit la 50%). Cum nu poate fi concepută o execuție perfectă; periile nu pot fi așezate exact în axa neutră dinamică a mașinii (mai ales cînd aceste perii nu pot fi rotite comod în timpul probelor). În cazul în care întrefierul este mic, tensiunea magnetică, de-a lungul circuitului magnetic, este mică. O deplasare redusă a periilor din axa neutră creează o solenație de reacție longitudinală, care are o importantă pondere față de solenația înfășurării de excitație, afectînd turația de așa manieră, încît ea nu se mai încadrează în limitele impuse. Pe baza experienței acumulate la UMEB, autorul arată că este posibilă încadrarea în toleranțele de turație admise, dacă se respectă relația (2):

$$W_e \geqslant \frac{N}{8\,ap}, \qquad (2)$$

în timp ce, dacă:

$$W_e \approx 0{,}6\,\frac{N}{8\,ap}, \qquad (3)$$

motorul este foarte sensibil la deplasarea periilor din axa neutră și astfel, încadrarea turației în toleranțele standardizate este foarte dificilă. Atunci cînd nu se respectă inegalitatea (2), se mărește întrefierul, rezultînd astfel necesitatea sporirii numărului de spire în bobinajul de excitație.

NOTAȚII:

h_{cr} — înălțimea crestăturii rotorului;
b_{cr} — lățimea crestăturii rotorului;
Φ — fluxul;
Φ_n — fluxul nominal;
θ_e — solenația de excitație;
θ_{en} — solenația de excitație nominală;

L — lungimea pachetului de tole;
a — perechi de căi în bobinajul rotor;
U_n — tensiunea nominală;
R — rezistenţa tuturor bobinajelor motorului;
p — perechi de poli;
n — turaţia;
I_n — curentul nominal;
N — conductoare în rotor;
W_e — spire într-o bobină de excitaţie;

Bibliografie

[1] *Richter, R.* Maşini electrice vol. I — Ed. tehnică — 1963.
[2] *Gheorghiu, I. S., şi Fransua, Al.* Tratat de maşini electrice vol. I, Editura Academiei, 1969.
[3] *Nicolescu, E.* şi *Răduţ, C.* Maşini electrice fabricate în R.P.R., Editura Tehinică.
[4] — Manualul inginerului electrician, vol. II. Editura tehnică, 1968
[5] *Nicolescu E.* Proiectarea motoarelor asincrone, cu rotorul în scurtcircuit, cu bare înalte, plecînd de la caracteristicile de pornire impuse. În: Electrotehnica nr. 8, 1968.
[6] *Bâlă, C.* Proiectarea maşinilor electrice, Ed. didactică şi pedagogică.

Intrat în redacţie la 15.V.1973

Probleme de optimizare la generatorul de medie frecvenţă

VICTOR BUNEA* — Bucureşti

CZ 621.313.12.02.001.5

Dezavantajul principal al generatorului de medie frecvenţă de tip inductor este faptul că la caracteristicile lui de funcţionare apar maxime. Dacă vîrful caracteristicii de sarcină este situat sub capacitatea termică a generatorului, acesta este supradimensionat şi nerentabil. În plus, în multe cazuri, randamentul şi siguranţa în funcţionare sînt micşorate.

Asemenea situaţii se ivesc de cele mai multe ori la generatoarele construite pentru frecvenţe mai ridicate, peste 4000 Hz, deoarece odată cu creşterea frecvenţei, variaţia permeanţei fluxului scade. Această scădere se datoreşte faptului că o dată cu creşterea frecvenţei pasul dinţilor de reluctanţă se micşorează, în timp ce valoarea întrefierului nu poate fi micşorată în aceiaşi proporţie, aceasta trebuind să rămînă mai mare ca valoarea de siguranţă.

Lucrările care s-au publicat pînă azi asupra generatoarelor de medie frecvenţă analizează foarte sumar problema posibilităţilor de acordare a puterii generatorului cu capacitatea lui termică, cu toate că această problemă este de mare interes practic şi economic.

În 1946 Robert Pohl [1] arată că încărcarea unui generator Guy nu prezintă dificultăţi dacă se foloseşte un condensator în serie cu circuitul indus, însă fără a insista asupra dezavantajelor unei astfel de soluţii.

Într-o lucrare anterioară [2] s-a publicat o nouă teorie a generatorului de medie frecvenţă, care permite şi determinarea vîrfului caracteristicilor de sarcină, iar într-o altă lucrare [3] s-a completat această teorie cu studiul efectului de refulare a fluxului în tole asupra acestor caracteristici.

Lucrările citate crează posibilitatea de a analiza funcţionarea generatorului de medie frecvenţă sub un nou aspect şi de a deduce care este optimul acestei funcţionări atît în condiţiile unei funcţionări sigure cît şi din punctul de vedere al generatorului în sensul realizării unui generator ieftin şi cu mare randament.

Acesta este scopul prezentului articol, care ca şi lucrările anterioare analizează exclusiv generatorul Guy, cel mai adecvat pentru frecvenţele mai ridicate.

Generatorul Lorenz care este folosit, aşa cum se obişnuieşte, la frecvenţele mai joase (1000 — 2000 Hz) are în general vîrful caracteristicii de sarcină situat peste capacitatea lui termică, astfel că din acest punct de vedere problemele acestui generator sînt diferite.

Teoria generatorului Lorenz este analizată pe larg de „Davies" [4], iar influenţa diferiţilor parametri geometrici asupra caracteristicilor lui de funcţionare este studiată de Aesalos [5], fără a se ţine seama de vîrful acestor caracteristici.

1. Formularea problemei

Un generator de medie frecvenţă trebuie să poată asigura în sarcină cel puţin doi parametri nominali: o anumită putere activă P_{ar} precum şi o anumită tensiune la borne V_{ar} sub care se furnizează această sarcină P_{ar}. La un generator obişnuit pentru frecvenţe industriale se pot obţine aceşti parametri în condiţiile unui factor de putere variind într-o bandă foarte largă. Elementul decisiv într-o funcţionare de durată este în acest caz capacitatea termică a maşinii.

Datorită apariţiei vîrfului caracteristicii de sarcină, un generator de medie frecvenţă, în special pentru frecvenţe mai ridicate, nu poate asigura parametrii nominali P_{ar} şi V_{ar} decît în limite reduse, uneori foarte reduse. Se poate

* Dr. ing. *V. Bunea* lucrează la Atelierul de proiectare al Uzinei de Maşini Electrice Bucureşti.

întîmpla chiar ca generatorul să nu poată asigura, în nici un fel parametrii nominali.

Problema nr. 1 care se pune şi care este abordată în prezenta lucrare este deci cunoaşterea limitelor în care generatorul Guy poate să furnizeze puterea activă cerută şi determinarea sarcinii optime din punct de vedere al randamentului şi al siguranţei în funcţionare.

Prezenta lucrare fiind o consecinţă a lucrărilor precedente ale autorului [2], [3], se vor folosi relaţiile şi ecuaţiile din acele lucrări.

Se presupune că generatorul furnizează energie unui receptor $Z_a = R_a + jX_a$, aşa cum este cazul general. În figura 1 este reprezentată

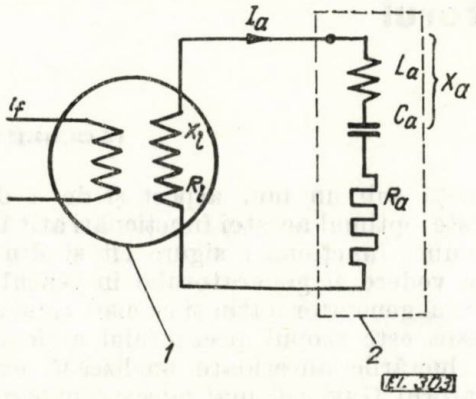


Fig. 1. Schema de funcţionare a generatorului inductor: 1 — generator; 2 — receptorul $Z_a = R_a + jX_a$.

schema de funcţionare. Este evident că oricum ar fi constituit circuitul de sarcină el va putea fi oricînd echivalent cu cel din figura 1. Valoarea rezistenţei R_a este totdeauna pozitivă şi diferită de zero în timp ce X_a poate fi zero, în cazul cos $\Phi = 1$, negativ sau pozitiv, după cum sarcina este capacitivă sau inductivă.

2. Funcţionarea în sarcină a generatorului Guy

În ipoteza că s-au luat toate măsurile ca efectul pelicular în cupru să fie neglijabil, randamentul şi capacitatea termică a unui generator inductor sînt determinate în principal de pierderile în fier, care depind direct de tensiunea la borne V_{ar}. Din acest motiv este indicat ca în funcţionare tensiunea la borne să nu depăşească valoarea nominală V_{ar} pentru care generatorul a fost conceput. Este mult mai preferabil ca mărirea puterii generatorului să fie realizată prin mărirea curentului de sarcină I_{ar} eventual cu o scădere a factorului de putere. În aceste condiţii puterea activă P_a a generatorului va depinde de curentul wattat $I_{aw} = I_a \cos \Phi$ pe care îl va putea furniza.

Din relaţiile (54), (56) şi (58) din lucrarea [3] se deduce:

$$I_{aw} = \frac{X_{sk} \cos \Phi}{\sqrt{(X_{sk} + X_a)^2 + R_a^2 + c_k R_a}} I_c \qquad (1)$$

sau, deoarece $X_a = R_a \operatorname{tg} \Phi$,

$$I_{aw} = \frac{X_{sk} \cos \Phi}{\sqrt{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2 + c_k R_a}} I_c. \qquad (2)$$

Ori, datorită formei caracteristicii de scurtcircuit care are vîrf la $I_{c\,max}$ nici I_{aw} nu va putea depăşi o anumită valoare.

Rezultă deci din relaţia (2) că în condiţiile unei tensiuni la borne dată, puterea activă maximă pe care o poate da un generator inductor este cu atît mai mare cu cît $I_{c\,max}$ este mai mare. Dacă $I_{c\,max}$ este mai mic decît valoarea nominală watată I_{awr} a curentului, aceasta nu va putea fi obţinută decît eventual dacă tg Φ este negativă respectiv sarcina este capacitivă.

Apare ca indicat să se studieze funcţionarea în sarcină a generatorului de medie frecvenţă în două ipoteze: sarcină inductivă şi sarcină capacitivă. În ceea ce priveşte funcţionarea la sarcină inductivă este suficient ca studiul să fie limitat la cos $\Phi = 1$, deoarece este bine cunoscut că la sarcină mai inductivă funcţionarea este absolut analoagă, aşa de altfel cum se va arăta în continuare la momentul necesar.

După cum se vede din relaţia (2) efectul de refulare a fluxului micşorează totdeauna sarcina generatorului şi pentru a uşura studiul se poate neglija în prima etapă acest efect totdeauna negativ.

În felul acesta ecuaţiile de funcţionare sînt considerabil simplificate şi permit o urmărire mai bună a rolului fiecărui element al generatorului. După caz şi la timp potrivit se va introduce şi analiza şi efectul de refulare a fluxului în tola magnetică.

Principiul de bază adoptat în lucrarea de faţă ca şi în lucrările anterioare ale autorului este alegerea densităţii de flux în întrefierul echivalent ca parametru independent [6]. Acest lucru se deosebeşte de felul cum sînt tratate asemenea lucrări în literatură unde de obicei ca parametru independent se ia solenţia de excitaţie, respectiv curentul de excitaţie sau cel de sarcină.

Noua teorie asupra generatorului de medie frecvenţă [2] şi relaţiile deduse în lucrările corespunzătoare [3] arată că dacă pentru porţiunea liniară a caracteristicii de magnetizare ar avea sens alegerea solenaţiei de excitaţie sau de sarcină ca variabilă independentă, pe porţiunea neliniară a caracteristicii, această alegere este neadecvată.

Aflarea vîrfului caracteristicii de sarcină şi de scurtcircuit se datoreşte în primul rînd tocmai alegerii densităţii în întrefier ca variabilă independentă şi importanţa acestui mod de a aborda problema am considerat că este cazul să fie accentuat şi aci, aşa cum de altfel va rezulta şi din cele ce urmează.

2.1. Funcționarea la cos Φ = 1

În acest caz $X_a = 0$, iar receptorul care formează sarcina este constituit numai de rezistența R_a. Neglijînd efectul de refulare a fluxului în tolă precum și rezistența proprie R_i a indusului, relațiile (25) și (35) din referința [2], dau

$$I_a = \frac{V_0}{\sqrt{X_{sk}^2 + R_a^2}}. \tag{3}$$

Puterea activă $P_a = R_a I_a$ va fi

$$P_a = \frac{V_0^2 R_a}{X_{sk}^2 + R_a^2}, \tag{4}$$

iar tensiunea la borne $V_a = R_a I_a$ va fi

$$V_a = \frac{V_0 R_a}{\sqrt{X_{sk}^2 + R_a^2}}. \tag{5}$$

Relația (5) arată că în cazul cos Φ = 1 totdeauna $V_a < V_0$. Pe de altă parte și relația (2) arată că totdeauna $I_a < I_c$. De aci rezultă că pentru ca un generator inductor să poată da, la cos Φ = 1, puterea nominală trebuie ca la mersul în gol să dea o tensiune mai mare ca tensiunea nominală, iar în scurtcircuit un curent mai mare decît curentul nominal.

Pentru o densitate de flux B_k în întrefier dată, rezultă un V_0 și X_{sk}. În acest caz relația (4) arată că puterea maximă se obține atunci cînd receptorul este astfel constituit încît $R_a = X_{sk}$ și are valoarea

$$P_a = \frac{V_0^2}{2 X_{sk}}, \tag{6}$$

iar tensiunea la borne

$$V_a = \frac{V_0}{\sqrt{2}}. \tag{7}$$

Dar se observă că relația (6) se poate pune și sub forma

$$P_a = \frac{1}{2} V_0 \frac{V_0}{X_{sk}} = \frac{1}{2} V_0 I_c \tag{8}$$

ceea ce înseamnă că puterea maximă care se poate obține dintr-un generator dat la un anumit B_k la cos Φ = 1, este jumătate din produsul dintre tensiunea de gol și curentul de scurtcircuit corespunzătoare densității B_k.

În figurile 2 și 3 s-a reprezentat caracteristica de gol și cea de scurtcircuit la două generatoare Guy date ca exemplu în referința 3, pe care în prezenta lucrare le vom numi generatorul 1 și generatorul 2 ambele fiind pentru 8000 c/s și 100 kW. Curbele s-au trasat în

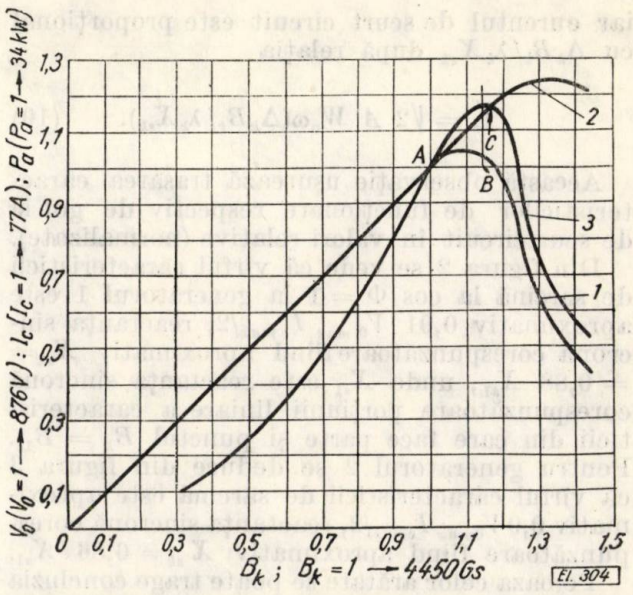


Fig. 2. Caracteristicile de funcționare în valori relative ale generatorului 1 funcție de B_k pentru (d/t) = 0,45 și δ = 0,7 mm : *1* — caracteristică de gol V_0 ; *2* — caracteristica de scurtcircuit I_c ; *3* — caracteristica sarcinii maxime P_a la cos Φ = 1

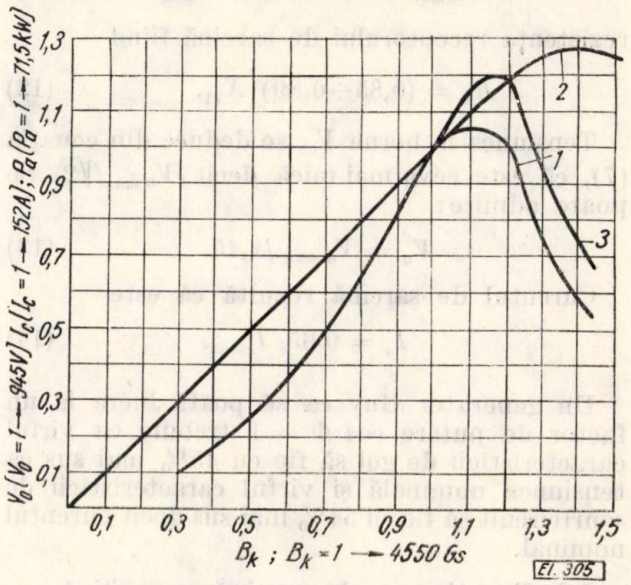


Fig. 3. Caracteristicile de funcționare în valori relative ale generatorului 2 funcție de B_k pentru $(d/t) = 0{,}4$ și $\delta = 0{,}9$ mm ; *1* — caracteristica de gol V_0 ; *2* — caracteristica de scurtcircuit I_c ; *3* — caracteristica sarcinii maxime P_a la cos Φ = 1.

valori normalizate considerîndu-se că unitatea este valoarea corespunzătoare densității B_{1e} situată la capătul porțiunii liniare a caracteristicii de magnetizare a generatorului respectiv la începutul cotului acesteia.

Este util de observat că conform relațiilor (41) și (45) din lucrarea [2] tensiunea de gol la generatorul Guy este proporțională cu $\Delta_k B_k / \lambda_k$ după relația :

$$V_0 = \sqrt{2}\, A\, W_a \omega\, (\Delta_k B_k / \lambda_k), \tag{9}$$

iar curentul de scurt circuit este proporţional cu $\Delta_k B_k / \lambda_k X_{sk}$ după relaţia

$$I_c = \sqrt{2}\ A\ W_a \omega (\Delta_k B_k / \lambda_k X_{sk}). \quad (10)$$

Această observaţie uşurează trasarea caracteristicilor de funcţionare respectiv de gol şi de scurtcircuit în valori relative (normalizate).

Din figura 2 se vede că vîrful caracteristicii de sarcină la cos $\Phi = 1$ la generatorul 1 este aproximativ 0,91 $V_{0\,max}\ I_{c\,max}/2$, reactanţa sincronă corespunzătoare fiind aproximativ $X_{sk} = 0{,}88\ X_{s1}$, unde X_{s1} este reactanţa sincronă corespunzătoare porţiunii liniare a caracteristicii din care face parte şi punctul $B_k = B_{1e}$. Pentru generatorul 2 se deduce din figura 3 că vîrful caracteristicii de sarcină este aproximativ $0{,}9\ V_{0max}\ I_{cmax}/2$, reactanţa sincronă corespunzătoare fiind aproximativ $X_{sk} = 0{,}86\ X_{s1}$.

Pe baza celor arătate se poate trage concluzia că un generator Guy poate da la cos $\Phi = 1$ o sarcină maximă egală cu

$$P_{amax} = 0{,}45\ V_{0max} . I_{cmax}, \quad (11)$$

rezistenţa receptorului de sarcină fiind

$$R_a = (0{,}85 \div 0{,}89)\ X_{s1}. \quad (12)$$

Tensiunea la borne V_a, se deduce din ecuaţia (7), că este ceva mai mică decît $V_{0\,max}/\sqrt{2}$. Se poate admite:

$$V_a = V_{0\,max}/1{,}45. \quad (13)$$

Curentul de sarcină rezultă că este

$$I_a = 0{,}65\ I_{cmax}. \quad (14)$$

Un generator Guy ca să poată lucra la un factor de putere cos $\Phi = 1$ trebuie ca vîrful caracteristicii de gol să fie cu 45% mai sus ca tensiunea nominală şi vîrful caracteristicii de scurtcircuit să fie cu 54% mai sus decît curentul nominal.

2.2. Funcţionarea la sarcină capacitivă

La sarcină capacitivă tg Φ este negativă şi $X_a = R_a$ tg Φ este negativă. Ecuaţiile care descriu în acest caz funcţionarea în sarcină a generatorului Guy, neglijînd efectul de refulare a fluxului şi rezistenţa proprie R_i a indusului sînt:

$$I_a = \frac{V_0}{\sqrt{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2}} \quad (15)$$

$$P_a = \frac{V_0^2 . R_a}{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2} \quad (16)$$

$$V = \frac{V_0\ R_a / \cos \Phi}{\sqrt{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2}}. \quad (17)$$

Pentru un Φ dat şi B_k dat, maximul puterii P_a se obţine anulînd derivata expresiei (16) în raport cu R_a. Se obţine că rezistenţa receptorului trebuie să fie:

$$R_a = X_{sk} \cos \Phi, \quad (18)$$

şi înlocuind în (16) şi (17) se obţine:

$$P_a = \frac{V_0^2}{2 X_{sk}} \cdot \frac{\cos \Phi}{1 + \sin \Phi}, \quad (19)$$

$$V_a = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 + \sin \Phi)}}. \quad (20)$$

Relaţia (19) indică că teoretic generatorul Guy poate da orice putere dacă factorul de putere cos Φ este ales destul de capacitiv. Astfel de exemplu la cos $\Phi = 0{,}4$ capacitiv, relaţia (16) dă: $P_a = 4{,}8\ V_0^2/2X_{sk}$, ceea ce înseamnă că capacitatea de încărcare a generatorului a crescut de 4,8 ori faţă de cazul cînd cos $\Phi = 1$. Din nefericire creşte în mod neplăcut şi tensiunea la borne, de exemplu în cazul specificat cu cos $\Phi = 0{,}4$ capacitiv, $V_a = 2{,}44\ V_0$. O astfel de tensiune considerabilă duce la pierderi în fier enorme cu o scădere mare a randamentului generatorului.

Un interes particular îl prezintă cazul cînd cos $\Phi = 0{,}866$ capacitiv, respectiv sin $\Phi = -0{,}5$ În acest caz relaţia (20) dă $V_a = V_0$ şi relaţia (19) $P_a = 0{,}866\ V_0^2/X_{sk}$ adică cu 73% mai mult ca în cazul sarcinii cu factor de putere 1.

Curentul de sarcină I_a faţă de cel de scurtcircuit I_c rezultă din ecuaţia (1) ca:

$$\frac{I_a}{I_c} = \frac{X_{sk}}{\sqrt{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\,(1 + \sin \Phi)}} \quad (21)$$

şi deci la sin $\Phi = -0{,}5$ respectiv cos $\Phi = 0{,}866$ capacitiv, $I_a = I_c$.

Generatorul Guy poate deci la cos $\Phi = 0{,}85$ capacitiv să dea o putere activă aproximativ egală cu produsul 0,86 $V_{0max} \times I_{cmax}$, tensiunea la borne nedepăşind vîrful tensiunii de gol.

Pentru generatoarele de frecvenţă destul de ridicată, de exemmplu peste 4000 Hz, şi unde apar dificultăţi în realizarea unor caracteristici cu vîrfuri suficient de urcate, pretenţia de a obţine puterea nominală la cos $\Phi = 1$ este exagerată. O funcţionare la un factor de putere uşor capacitiv 0,8...0,9 duce la o substanţială urcare a capacităţii de încărcare a generatorului fără o creştere apreciabilă a pierderilor în fier.

Sarcinile generatoarelor de medie frecvenţă sînt totdeauna foarte inductive, cu atît mai inductive cu cît frecvenţa este mai ridicată. Fie că se doreşte să se lucreze cu generatorul

la cos $\Phi = 1$, fie la cos $\Phi = 0{,}8$ capacitiv, sarcina tot trebuie compensată cu condensatoare, așa că din punct de vedere practic nu are nici-o importanță dacă compensarea se face pentru cos $\Phi = 1$ sau pentru cos $\Phi = 0{,}85$ capacitiv, sau chiar, 0,8 capacitiv.

Față de avantajul economic care se obține prin aproape dublarea capacității de încărcare a generatorului costul plusului de putere capacitivă este cu totul neînsemnat.

Din cele prezentate rezultă, de asemenea, un lucru important, valabil bineînțeles tot pentru generatoare de frecvență mai ridicată, unde apar dificultăți în obținerea unor caracteristici suficient de ridicate. Este vorba de numărul de spire indus.

Pentru a folosi în întregime capacitatea de încărcare a generatorului nu are nici-un sens ca tensiunea nominală să fie mai mică decît vîrful tensiunii la mers în gol. Dacă din contră ne impunem ca funcționarea generatorului să decurgă la o anumită tensiune nominală, numărul de spire ales nu este nevoie să fie mai mare decît cel care la mers în gol asigură la vîrf tensiunea nominală. La cos Φ capacitiv 0,8 numărul de spire indus poate fi chiar ceva mai mic ca cel care asigură la mersul în gol la vîrf tensiunea nominală.

2.3. Efectul de refulare a fluxului în tola generatorului.

Ecuația care descrie funcționarea în sarcină a generatorului ținînd cont de efectul de refulare a fluxului în tolă, rezultă din ecuația (59) din referința [3]. Ea poate fi scrisă sub o formă similară cu ecuația (15) ca:

$$I_a = \frac{V_0}{\sqrt{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2 + c_k R_a}}. \quad (22)$$

În această ecuație V_0 și X_{sk} sînt valorile care țin cont de efectul de refulare a fluxului, fiind date respectiv de ecuațiile (21) și (53) din referința [3]. Ele sînt perfect determinate odată ce se dă densitatea medie B_k în întrefier.

În continuare avem:

$$P_a = \frac{V_0^2 R_a}{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2 + c_k R_a}, \quad (23)$$

$$V_a = \frac{V_0 R_a / \cos \Phi}{\sqrt{(X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi)^2 + R_a^2 + c_k R_a}}. \quad (24)$$

Puterea maximă se obține tot pentru $R_a = X_{sk} \cos \Phi$, în care caz ecuația (23) dă:

$$P_a = \frac{V_0^2}{2 X_{sk}} \frac{\cos \Phi}{1 + \sin \Phi + c_k / 2 X_{sk}}. \quad (25)$$

Ținînd cont de ecuațiile (53) și (58) din lucrarea [3] care dau respectiv pe X_{sk} și pe c_k și neglijînd pe X_l rezultă:

$$\frac{c_k}{2 X_{sk}} = \theta_k, \quad (26)$$

astfel că:

$$P_a = \frac{V_0^2}{2 X_{sk}} \frac{\cos \Phi}{1 + \sin \Phi + \theta_k \cos \Phi} \quad (27)$$

și

$$V_a = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \sin \Phi + \theta_k \cos \Phi}}. \quad (28)$$

Ecuația (27) arată că efectul de refulare a fluxului este cu atît mai supărător cu cît, sarcina este mai capacitivă. Astfel de exemplu la cos $\Phi = 1$ și pentru $\theta_k = 0{,}1$, efectul de refulare a fluxului face ca sarcina să scadă cu 9% pe cînd la cos Φ capacitiv = 0,866, relația (27) arată că sarcina scade cu 15%. Dacă generatorul este de tipul care obligă o compensare și mai puternică a sarcinii de exemplu cos $\Phi = 0{,}5$ capacitiv respectiv sin $\Phi = -0{,}866$, relația (27) arată că sarcina scade cu 15%. Dacă generatorul este de tipul care obligă o compensare și mai puternică a sarcinii de exemplu cos $\Phi = 0{,}5$ capacitiv respectiv sin $\Phi = -0{,}866$, relația (27) arată că sarcina scade cu 27,5%. În realitate efectul de refulare a fluxului este și mai mare datorită faptului că factorul $V_0^2/2X_{sk}$ se micșorează aproximativ cu σ_k față de cazul cînd se neglijează efectul de refulare a fluxului. La o frecvență de 8000 Hz coeficientul σ_1 este egal [3] cu 1,066 scăzînd către vîrf la aproximativ 1,035 astfel că cifrele date mai sus pentru scăderea sarcinii provocate de efectul de refulare a fluxului se multiplică cu 1,035 ajungînd respectiv la 12%, 18% și 30%.

Ecuația (27) mai arată că efectul de refulare a fluxului limitează puterea care poate fi obținută prin scăderea capacitivă a factorului de putere. La limită, la cos $\Phi = 0$ capacitiv, puterea P_a nu mai este infinită cum apare din relația 19 ci este $V_0^2/2X_{sk}\theta_k$ cum apare din ecuația (27).

Asupra tensiunii la borne efectul de refulare a fluxului în tole are de asemenea o acțiune de micșorare, așa cum arată ecuația (28).

2.4. Rezonanța de saturație.

În paragrafele 2.1 și 2.2 s-a arătat că pentru a se obține capacitatea maximă de încărcare a unui generator Guy trebuie determinată curba analoagă cu cea notată cu 3 în figurile 2 și 3, care reprezintă produsul ordonatelor caracteristicii de gol V_0 cu cele ale caracteristicii de scurtcircuit I_c. Pentru orice factor de putere capacitiv (sau inductiv), capacitatea de încăr-

care a generatorului se obţine multiplicînd ordonatele curbei 3 cu factorul cos Φ(1+sin Φ) care este constant. Pentru diferiţi cos Φ se vor obţine o serie de caracteristici toate avînd vîrfurile aşezate unele sub altele pe aceiaşi ordonată situată ceva mai la dreapta de vîrful caracteristicii de gol.

Ridicarea experimentală a unei astfel de caracteristici nu este atît de simplă cum ar părea la prima vedere, deoarece condiţia $R_a = X_{sk}$ cos Φ impune, la fiecare B_k o altă rezistenţă, respectiv impedanţă de sarcină corespunzătoare saturaţiei respective din maşină. Face excepţie partea liniară a caracteristicii unde $X_{sk} = X_{s1}$. Pentru toată această porţiune impedanţa receptorului $Z_a = R_a + jX_a$ este constantă. Îndată după depăşirea părţii liniare impedanţa receptorului trebuie ajustată convenabil la fiecare punct B_k respectiv la fiecare valoare a curentului de excitaţie i_f.

Funcţionarea generatorului de medie frecvenţă însă se face obişnuit pe un receptor de impedanţă constantă. Dacă se alege această impedanţă astfel încît ea să coincidă cu cea corespunzătoare capacităţii de sarcină maximă a generatorului la factorul de putere fixat şi se va determina caracteristica de sarcină a generatorului lucrînd pe această impedanţă, atunci se va cădea exact peste vîrful caracteristicii corespunzătoare analoage figurii 2 sau 3. Cu excepţia vîrfului restul caracteristicii de sarcină nu va mai coincide cu caracteristica de sarcină analoagă celei din figura 2 sau 3.

În figura 4 s-a reprezentat în funcţie de densitatea B_k în întrefier pentru generatorul *1*, caracteristica de sarcină pentru cos Φ = 0,5 capacitativ notată cu *1* determinată prin multiplicarea ordonatelor produsului $V_0 I_c$ cu factorul 0,5 cos Φ (1 + sin Φ) = 1,37, ceea ce echivalează cu determinarea caracteristicii de sarcină pe o impedanţă $Z_a = 0{,}5\ X_{sk} - j\ 0{,}866\ X_{sk}$. Vîrful acestei caracteristici a rezultat la o densitate $B_k = 5250\ G_s$ pentru care $X_{sk} = 10\Omega$. După aceea, în figura 4 s-a trasat caracteristica de sarcină notată cu *2*, de data aceasta pentru o impedanţă constantă bazată pe găsirea valorii $X_{sk} = 10\ \Omega$, respectiv $Z_a = (5 - j\ 8{,}66)\Omega$ şi care a dat acelaşi vîrf.

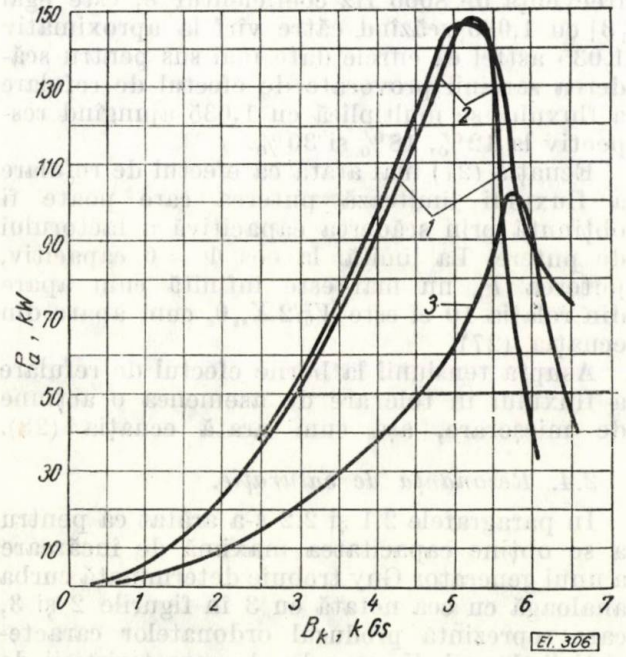


Fig. 4. Caracteristicile de sarcină ale generatorului 1 : *1* — pentru $Z_a = (0{,}5 - 10,\ 86)\ X_{sk}, \Omega$; *2* — pentru $Z_a = (5 - j\ 8{,}66), \Omega$; *3* — pentru $Z_a = (3 - j\ 5{,}2)\ \Omega$.

În felul acesta s-a pus în evidenţă aspectul diferit al celor două caracteristici 1 şi 2 din figura 4 cu toate că ele au acelaşi vîrf.

Analiza caracteristicii la sarcină capacitivă, atunci cînd impedanţa Z_a este constantă se face pe baza ecuaţiei (16), elementele variabile cu B_k fiind V_0 şi X_{sk}. Se constată că în general maximul puterii P_a are loc în vecinătatea punctului unde paranteza de la numitor se anulează

$$X_{sk} + R_a \operatorname{tg} \Phi = 0 \qquad (29)$$

în care caz

$$P_a = V_0^2 / R_a \qquad (30)$$

$$V_a = V_0 / \cos \Phi. \qquad (31)$$

Condiţia (29) poate fi numită rezonanţă de saturaţie şi poate avea loc exclusiv la sarcină capacitivă unde $R_a \operatorname{tg} \Phi < 0$. Pentru a exemplifica acest fenomen, în figura 4 s-a reprezentat şi o caracteristică de sarcină notată cu 3 corespunzătoare unei impedanţe $Z_a = (3 - j\,5{,}2)\Omega$ mult mai mică decît impedanţa anterioară $(5 - j\ 8{,}66)\ \Omega$. Vîrful acestei caracteristice are loc la $B_k = 5750$ Gs cînd $X_{sk} = 6{,}9\ \Omega$, ceva mai mare, însă apropiat valorii 5,2 Ω, reactanţa sarcinii.

Este interesant de făcut o comparaţie între caracteristica 2 şi caracteristica 3 din figura 4, ambele pentru cos Φ = 0,5 capacitiv. Este uşor de văzut cum cauza pentru care vîrful caracteristicii 3 are loc la o densitate B_k, respectiv la un curent i de excitaţie mai mare ca cel corespunzător vîrfului caracteristicii 2, se datoreşte faptului că reactanţa de 5,2 Ω a sarcinii corespunzătoare curbei *3* este mult mai mică decît valoarea de 11,35 Ω — reactanţa sincronă nesaturată a generatorului, în timp ce reactanţa de 8,66 Ω a sarcinii corespunzătoare curbei *2* este mai apropiată de valoarea de 11,35 Ω. Mai este de observat că curba *3* are un vîrf mai ascuţit decît curba *2*. Funcţionarea generatorului după curba *3* este mai puţin stabilă ca funcţionarea după curba *2*. În ambele cazuri de funcţionare tensiunea la borne V_a este mai mare decît $V_{o\,max}$. În ambele cazuri generatorul are randament slab.

Din cele prezentate se poate deduce că o folosire bună a rezonanţei de saturaţie poate avea loc atunci cînd X_a este nu mult mai mic decît reactanţa sincronă nesaturată X_{s1}. Se poate considera că un generator Guy pentru frecvenţe mai mari ca 4000 c/s este bine conceput atunci cînd

$$X_{s1} = -(1{,}85 \ldots 1{,}95)\, X_a. \qquad (32)$$

Dacă se mai ţine cont şi de recomandarea că factorul de putere capacitiv să nu cadă sub $\cos(-\Phi) = 0{,}8$ respectiv $\operatorname{tg} \Phi = -0{,}75$, se deduce şi că:

$$R_a = (0{,}85 \ldots 0{,}9)\, \Omega_{s1}.$$

2.5. Concluzii. (Corelarea generatorului cu sarcina)

Dacă se cunoaşte puterea nominală P_{ar} pe care trebuie să o dezvolte generatorul, prima hotărîre care trebuie luată este la ce factor de putere urmează să funcţioneze generatorul, la $\cos \Phi = 1$, sau la $\cos \Phi$ capacitiv (minim 0,8).

În cazul al doilea generatorul poate prelua o sarcină aproximativ dublă decît în cazul $\cos \Phi = 1$.

Dacă capacitatea termică a generatorului face faţă acestei puteri duble este economic şi indicat ca să se adopte un $\cos \Phi$ capacitiv (minim 0,8).

Cînd capacitatea termică nu poate face faţă acestei puteri duble este indicat ca generatorul să lucreze la $\cos \Phi = 1$.

Dacă elementul care decide dimensiunile generatorului inductor este capacitatea lui termică proiectarea lui nu prezintă nici-o dificultate, ea fiind analoagă cu proiectarea unui generator convenţional. În general acest lucru se întîmplă la generatoare inductor destinate frecvenţelor mai mici ca 2500 Hz.

Pentru frecvenţe mai ridicate unde încep dificultăţile, rezultă din cele de mai sus că este indicat a se alege o funcţionare uşor capacitivă fără condensator serie [2].

A doua hotărîre care trebuie luată în cadrul proiectării optime a generatorului Guy este fixarea tensiunii nominale despre care s-a discutat la pct. 2.2. ajungîndu-se la concluzia că tensiunea nominală trebuie să fie ceva mai mare sau cel puţin egală cu valoarea de vîrf a caracteristicii de gol, dacă s-a decis o funcţionare la $\cos \Phi$ capacitiv $(0{,}8 \div 0{,}95)$, sau mai mică decît aceasta, dacă funcţionarea are loc la $\cos \Phi = 1$.

O a doua problemă care se pune în continuarea realizării unui generator superior de medie frecvenţă este optimizarea elementelor lui constructiv-geometrice. Această problemă va fi analizată într-o lucrare viitoare.

Lista notaţiilor principale folosite.

A — suprafaţa sectorului (jumătate de pol)
B_k — inducţia medie în întrefierul echivalent
I — valoare eficace a curentului în indus
P_a — puterea activă
R_a — rezistenţa receptorului formînd sarcina
V — tensiunea eficace la borne
W_a — numărul de spire al înfăşurării indus
X_a — reactanţa receptorului formînd sarcina
X_s — reactanţa sincronă
Z_a — $R_a + jX_a$ = impedanţa receptorului formînd sarcina
c_k — mărime care apare în sarcină datorită efectului de refulare a fluxului în tole (sec. (58) din referinţa 3)
Δ_k — inversul unui întrefier echivalent (ec. (15) din referinţa 2)
λ_k — inversul unui întrefier echivalent (ec. (16) din referinţa 2)
θ — unghiul de fază al componentei alternative a inducţiei
Φ — unghiul de fază al sarcinii
ω — frecvenţa unghiulară

Indici inferiori

k — pentru valori medii
$k=1$ — pentru valori nesaturate, indicînd astfel că B_1 reprezintă orice valoare a inducţiei în întrefierul echivalent situată pe porţiunea lineară a caracteristicii de magnetizare a generatorului.
o — pentru valori la funcţionarea în gol
a — pentru valori în funcţionarea în sarcină
c — pentru valori în scurtcircuit
r — pentru valori nominale
w — pentru componenta activă

Bibliografie

[1] *Pohl, R.* Theory of pulsating field machines. In : J.I.E.E. 93, pt. II 1946, p. 37.
[2] *Bunea, V.* Theory of medium frequency pulsating field machines. In : Proc. I.E.E. **111**, nr. 7, 1964, p. 1324—1332.
[3] *Bunea, V.* Magnetic skin-effects in medium frequency machines. In : Proc. I.E.E., **117**, nr. 7, 1970, p. 1303—1308.
[4] *Davies, E. J.* & al. Performance of Lorenz-type medium frequency inductor alternators on load. In : Proc. I.E.E. **115**, nr. 12, 1968.
[5] *Aesalos, P.* Unele probleme ale proiectării şi teoriei generatoarelor inductor. In : Elektrotehnica nr. 11, 1955, Budapest.
[6] *Nicolaide, A.* Maşina sincronă (curs). Universitatea din Braşov, 1971.

Intrat în redacţie la 15.V.1973.

Probleme privind regimurile tranzitorii ale mașinilor asincrone trifazate

VALERIU CONSTANTINESCU, SANDA CĂNESCU și MARIN CRĂCIUN*—București

CZ 621.313.33.025.3

Cunoașterea performanțelor unui motor asincron în regim tranzitoriu prezintă o deosebită importanță, atît în ceea ce privește comportarea dinamică a întregului sistem acționat, cît și pentru alegerea aparatajului de conectare corespunzător. Motoarele asincrone au o pondere însemnată în planul de fabricație al Uzinei de mașini electrice-București și, ca urmare, stăpînirea unui instrument matematic capabil să predetermine orice regim de funcționare a acestei mașini este de o deosebită importanță. Scopul prezentei lucrări este tocmai realizarea unui model matematic corect, care să permită atît simularea mașinii pe un calculator numeric, cît și verificarea rezultatelor pe baza unor încercări experimentale.

În general, la funcționarea motorului asincron se întîlnesc trei regimuri tranzitorii : pornirea, recuplarea și cuplarea inversă. Ele au o durată de timp foarte redusă, dar prezintă interes deoarece apar curenți care depășesc cu mult curentul nominal. Din acest motiv în lucrarea de față, ca și în altele, de altfel, [3]...[9], se acordă o mare atenție comportării mașinii în aceste situații.

Pentru pornire se presupune că rotorul este imobil și că, la un moment dat de timp se aplică, la bornele înfășurării statorice, un sistem de tensiuni simetrice și echilibrate ; dacă cuplarea se face în momentul cînd tensiunea unei faze trece prin zero, se obține situația cea mai grea pentru mașină și sistem.

Recuplarea reprezintă reconectarea la rețea a mașinii în perioada de timp cît rotorul continuă să se rotească, datorită unei funcționări anterioare a mașinii. La deconectarea mașinii de la rețea curenții rotorici se amortizează treptat și induc în înfășurările statorice tensiunea electromotoare, care în momentul recuplării se compune cu tensiunile de alimentare.

Regimul cel mai defavorabil al cuplării inverse are loc imediat după deconectare, înaintea momentului cînd tensiunea rezultantă prezintă un maxim.

Ecuațiile diferențiale ce descriu comportarea motorului asincron în regim tranzitoriu pot fi prezentate în moduri diferite [1], [8], [9] și pot fi rezolvate analitic, sau cu ajutorul calculatoarelor analogice și numerice.

I. Modelul matematic al mașinii asincrone în regim tranzitoriu

1. Mașina idealizată. Ecuațiile generale ce caracterizează funcționarea motorului asincron se obțin pe baza modelului idealizat al unei mașini electrice trifazate cu întrefier uniform, cu înfășurări sinusoidale, dispuse în crestături de lățime infinit mică, mașină la care se neglijează pierderile în fier și efectul pelicular, iar parametrii înfășurărilor sînt considerați constanți. În cazul mașinii cu rotorul în colivie, sistemul de bare se înlocuiește cu un sistem de înfășurări echivalente, bifazat sau trifazat, cu parametrii constanți, raportați la înfășurarea statorică. Circuitul magnetic al mașinii se presupune să fie nesaturat, făcîndu-se astfel posibilă aplicarea principiului superpoziției. În figura 1 este prezentat un model schematic al

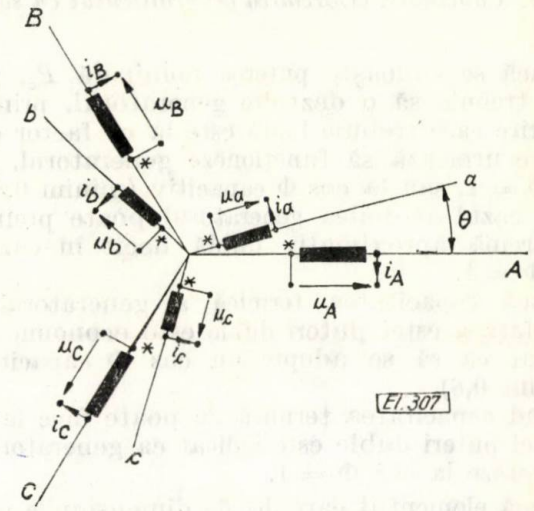


Fig. 1. Schema de principiu a motorului asincron.

mașinii trifazate idealizate, în care înfășurările statorice și rotorice s-au reprezentat prin trei înfășurări A, B, C pentru stator, respectiv a, b, c pentru rotor.

Se notează cu θ unghiul electric variabil în timp, făcut la un moment dat de axa a, asociată fazei a rotorice, și axa A, asociată fazei A statorice. Toate cele 6 înfășurări au o inductivitate proprie $L_{AA} = L_{BB} = L_{CC}$, $L_{aa} = L_{bb} = L_{cc}$, o inductivitate mutuală în raport cu celelalte înfășurări de pe aceeași armătură notată cu $L_{AB} = L_{BC} = L_{CA}$, respectiv, $L_{ab} = L_{bc} = L_{ca}$ și o inductivitate mutuală în raport cu înfășurarea corespunzătoare de pe cealaltă armătură L_{aA}, L_{Aa}, L_{bB}, L_{Bb}, L_{cC}, L_{Cc}. Primele două grupe de inductivități sînt mărimi constante, pe cînd inductivitățile mutuale dintre stator și rotor sînt variabile, în funcție de unghiul θ de poziție al rotorului, după o lege sinusoidală, avînd valoarea maximă L_{Aam} atunci cînd axele asociate celor două înfășurări coincid.

Se poate defini o matrice generală [1], notată cu $|Lj|$, a inductivităților proprii și mutuale, care caracterizează mașina :

* Ing. *V. Constantinescu* este șeful laboratorului de încercări de la Uzina de mașini electrice București, ing. *S. Cănescu* este asistentă la Institutul Politehnic-București, iar *M. Crăciun* este inginer stagiar la Institutul de cercetări pentru industria electrotehnică—București.

$$|L_j| = \begin{vmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AB} & L_{Aam}\cos\theta & L_{Aam}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{AB} & L_{AA} & L_{AB} & L_{Aam}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\theta & L_{Aam}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \\ L_{AB} & L_{AB} & L_{AA} & L_{Aam}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\theta \\ L_{Aam}\cos\theta & L_{Aam}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & L_{aa} & L_{ab} & L_{ab} \\ L_{Aam}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\theta & L_{Aam}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & L_{ab} & L_{aa} & L_{ab} \\ L_{Aam}\cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & L_{Aam}\cos\theta & L_{ab} & L_{ab} & L_{aa} \end{vmatrix} \quad (1)$$

Rezistențele unei înfășurări statorice, respectiv rotorice, notate cu R_1 și R_2 sînt mărimi constante în timp.

Dacă se notează cu $u_A, u_B, u_C, i_A, i_B, i_C$ tensiunile și curenții pe fază ai înfășurărilor statorului și cu u_a, u_b, u_c, i_a, i_b, i_c tensiunile și curenții pe fază ai înfășurărilor rotorului (fig. 1) iar cu $\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_a, \psi_b \psi_c$ fluxurile totale ale fazelor, ecuațiile diferențiale ale celor 6 înfășurări cuplate magnetic se pot scrie, pe baza teoremelor lui Kirchhoff, sub forma matriceală generalizată :

$$|u_j| = \frac{d}{dt}|\psi_j| + |R_j|.|i_j|, \quad (2)$$

$$|\psi_j| = |L_j|.|i_j|, \quad (3)$$

cu $j = A, B, C, a, b, c$.

Deoarece mașina are rotorul în scurtcircuit

$$u_a = u_b = u_c = 0. \quad (4)$$

Sistemul de ecuații (2), (3) este neliniar, deoarece inductivitățile și curenții sînt variabile în timp. Integrarea lor într-un regim tranzitoriu oarecare al motorului este foarte dificilă, de aceea se preferă o schimbare de variabilă, care să conducă la un sistem mai simplu de integrat.

2. *Modelul bifazat al mașinii asincrone idealizate.* Datorită formei speciale a inductivităților se poate folosi matricea de schimbare a variabilelor (tensiuni, curenți, fluxuri) propusă de Blondel-Park. Această schimbare se bazează

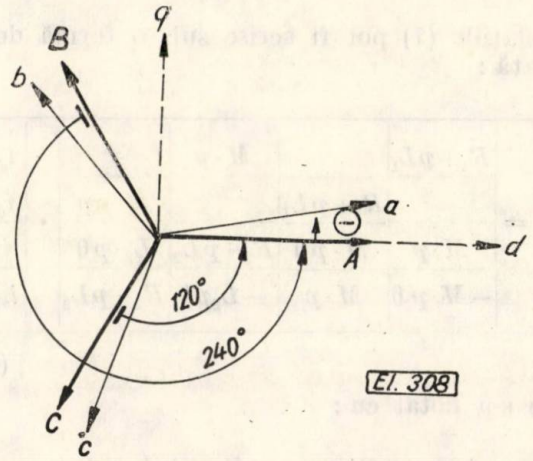


Fig. 2. Sistemul de referință statoric.

pe alegerea unui sistem de axe ortogonale *d*, *q*, *o* solidare cu statorul; se alege axa *d*, astfel încît să coincidă cu direcția axei fazei *A* statorice, iar axa *q* să fie defazată cu 90° electrice înaintea ei, în sensul de rotație a mașinii (fig. 2).

Întrucît mașina asincronă idealizată are o perfectă simetrie constructivă, electrică și magnetică, rezultă că :

$$i_A + i_B + i_C = 0, \; i_a + i_b + i_c = 0, \quad (5)$$

deci, componentele curenților și tensiunilor din înfășurări, după axa 0 sînt nule. Prin această transformare, înfășurările trifazate sînt înlocuite printr-un sistem de înfășurări bifazate, parcurse de curenții i_d și i_q, care produc aceeași curbă a tensiunii magnetomotoare ca și curenții trifazați. În continuare se notează cu indicele 1 mărimile care se referă la stator și cu 2 cele care se referă la rotor.

Aplicînd matricea de transformare de forma :

$$|C| = \frac{2}{3}\begin{vmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ & +\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \cos\theta & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\theta & \sin\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \end{vmatrix}, \tag{6}$$

sistemului de ecuații (2), (3) rezultă matricea tensiunii aplicate în funcție de noile variabile.

$$|u| = |C|\cdot|u_j| = |C|\cdot\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}|\psi_j| + |C|\cdot|R_j|\cdot|i_j|. \tag{7}$$

Relațiile (7) pot fi scrise sub o formă dezvoltată :

$$\begin{vmatrix} u_{d1} \\ u_{q1} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_1+pL_1 & & M\cdot p & \\ & R_1+pL_1 & & M\cdot p \\ M\cdot p & M\cdot p\,\theta & R_2+pL_2 & L_2\cdot p\,\theta \\ -M\cdot p\,\theta & M\cdot p & -L_2 p\,\theta & R_2+pL_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_{d1} \\ i_{q1} \\ i_{d2} \\ i_{q2} \end{vmatrix} \tag{8}$$

unde s-a notat cu :

$$|u| = |C|\cdot|u_j|\,;\quad |i| = |c|\cdot|i_j|\,;$$

L_1, L_2 inductivitățile totale ale înfășurărilor din axele d, q

$$L_1 = L_{AA} - L_{AB},\quad L_2 = L_{aa} - L_{ab} \tag{9}$$

M este inductivitatea mutuală între înfășurările de pe aceeași axă

$$M = -\frac{3}{2}L_{Aam}, \tag{10}$$

și :

$$p = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}. \tag{11}$$

Mărimea :

$$p\theta = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \dot{\theta}, \tag{12}$$

reprezintă viteza instantanee a rotorului.

Cu aceste notații și ținînd seama de relațiile (8), ecuațiile (7) ale mașinii asincrone pot fi puse sub forma

$$|u| = |D|\cdot p|i| + |B|\cdot|i|, \tag{13}$$

$$|D| = \begin{vmatrix} L_1 & & M & \\ & L_1 & & M \\ M & & L_2 & \\ & M & & L_2 \end{vmatrix}$$

$$|B| = \begin{vmatrix} R_1 & & & \\ & R_1 & & \\ & \dot{\theta}\cdot M & R_2 & \dot{\theta}L_2 \\ \dot{\theta}\cdot M & & -\dot{\theta}L_2 & R_2 \end{vmatrix} \tag{14}$$

Din (13) rezultă matricea derivatei, în raport cu timpul, a curenților :

$$p|i| = |D|^{-1}\cdot[\,|u| - |B|\cdot|i|\,]. \tag{15}$$

De observat că, matricea $|D|$ și inversa sa $|D|^{-1}$ sînt constante, depinzînd doar de parametrii mașinii, pe cînd matricea $|B|$ este funcție de viteza instantanee $\dot{\theta}$.

3. Ecuația mișcării. Cuplul dezvoltat de motor depinde în orice moment de curenții care trec prin înfășurări, iar valoarea sa instantanee se determină aplicînd teorema forțelor generalizate [1] :

$$m_{em} = P\cdot M(i_{2d}\cdot i_{1q} - i_{2q}\cdot i_{1d}), \tag{16}$$

unde : s-a notat cu P numărul de perechi de poli. Acest cuplu electromagnetic dezvoltat de motor trebuie să acopere :

m_s — cuplul mecanic cerut de sarcină ;

m_f — cuplul mecanic care acoperă pierderile mecanice și pe cele de ventilație ;

m_a — cuplul care produce accelerarea rotorului, denumit și cuplul de inerție și care este dat de relația :

$$m_a = J\frac{\mathrm{d}^2\beta}{\mathrm{d}t^2} = \frac{J}{P}\cdot\frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} = \frac{J}{P}\cdot\ddot{\theta}, \tag{17}$$

unde J este momentul de inerție al ansamblului motor-mecanism de antrenare, iar β este unghiul de poziție al rotorului față de stator, exprimat în grade geometrice.

Ecuația de echilibru al cuplurilor va fi atunci:

$$m_{em} = m_s + m_f + m_a. \qquad (18)$$

4. Modelul matematic al mașinii asincrone. Analiza regimurilor tranzitorii ale mașinii asincrone se poate face pe baza unui model matematic care cuprinde:

— matricea derivatei, în raport cu timpul, a curenților (15)

$$p|i| = |D|^{-1}[|u| - |B| \cdot |i|];$$

— ecuația de echilibru a cuplurilor (18) completată cu ecuația (16), care determină expresia cuplului electromagnetic instantaneu, ecuația (17), care determină valoarea cuplului de accelerare și o ecuație, care să dea informații asupra modului în care variază cuplul de sarcină m_s și de frecări m_f în funcție de unghiul θ sau de viteza $\dot{\theta}$.

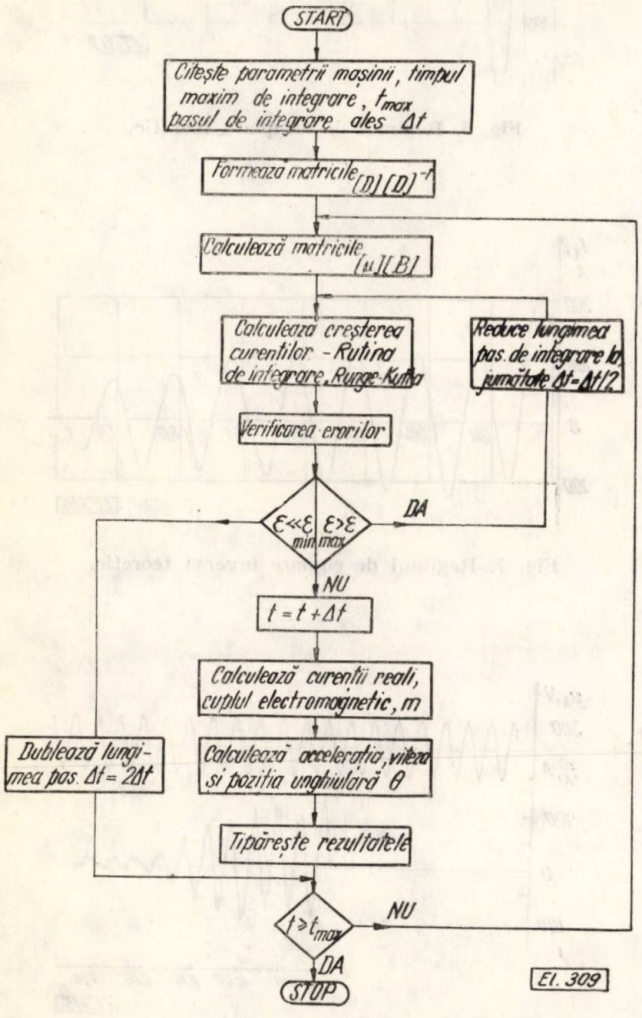


Fig. 3. Organizarea procesului de integrare.

Sistemul de ecuație (15), (16), (17), (18) obținut este un sistem cu parametri variabili, a cărui integrare nu poate fi făcută prin metode analitice. El poate fi însă integrat prin metode numerice, utilizînd un calculator digital. Metodele de integrare numerică sînt diverse, fiecare cu avantajele și dezavantajele lor, metodele de tip Runge-Kutta cu controlul automat al erorii fiind cele mai utilizate în astfel de probleme. Procesul de integrare se realizează pentru pași foarte mici de timp $\left(\frac{1}{50} \div \frac{1}{100}\right.$ din perioadă$\left.\right)$, calculîndu-se pentru fiecare început, mijloc și sfîrșit de pas creșterea curenților, pe baza relației (15) Runge-Kutta de grad IV. Deoarece constanta mecanică de timp a mașinii este mult mai mare decît pasul de integrare, se poate considera cu suficientă precizie viteza constantă ($\dot{\theta} = \text{const.}$) pe un pas, integrarea ecuației mecanice (18) realizîndu-se pentru fiecare pas pe baza metodei trapezelor. Mersul calculului poate fi aranjat într-o organigramă ca cea din figura 3.

II. Determinarea regimurilor tranzitorii de pornire, recuplare și cuplare inversă

Regimurile tranzitorii de pornire, recuplare și cuplare inversă se studiază pe baza ecuațiilor (15), (16), (17) și (18), utilizînd un calculator numeric de tipul IBM — 1130, rezultatele obținute fiind comparate cu o serie de încercări experimentale.

Mașina studiată este un motor asincron cu rotorul în colivie, fabricație UMEB, de 5,5 kW, 1500 rot/min, gabarit 132 S; $U_n = 380$ V $I_n = 11{,}9$ A; $\cos \varphi = 0{,}827$, $\eta = 0{,}853$, $M_n = 37{,}5$ Nm, $I_p/I_n = 7$. Parametrii necesari scrierii ecuațiilor (8), respectiv (15), pentru modelul bifazat al mașinii, au fost determinați pe baza încercărilor de gol și scurtcircuit și au valorile: $R_1 = 0{,}72\Omega$; $R_2 = 1{,}11\Omega$; $M = 0{,}112\Omega$; $L_1 = L_2 = 0{,}116\ \Omega$. Mașina a fost cuplată cu un generator de c.c. de 7 kW, momentul total de inerție motor — sarcină fiind $J = 0{,}062$ kgm².

Rezultatele obținute pe baza calculelor sînt prezentate în figurile 4, 5, 6, 7. Ele au fost comparate cu oscilogramele ridicate pe baza încercărilor experimentale (figurile 8, 9, 10).

Pentru regimul de pornire s-a considerat că motorul pleacă din repaos, fără cuplu de sarcină, încercările și determinările pe calculator realizîndu-se pentru momentul cel mai defavorabil de închidere a întrerupătorului din circuitul statoric, caz în care tensiunea fazei A trece prin zero.

Pentru regimul de recuplare (mașina încărcată la cuplul nominal) s-a luat în considerație efectul curentului remanent din circuitul rotoric, care în perioada de întrerupere a circuitului de alimentare induce la bornele statorului o

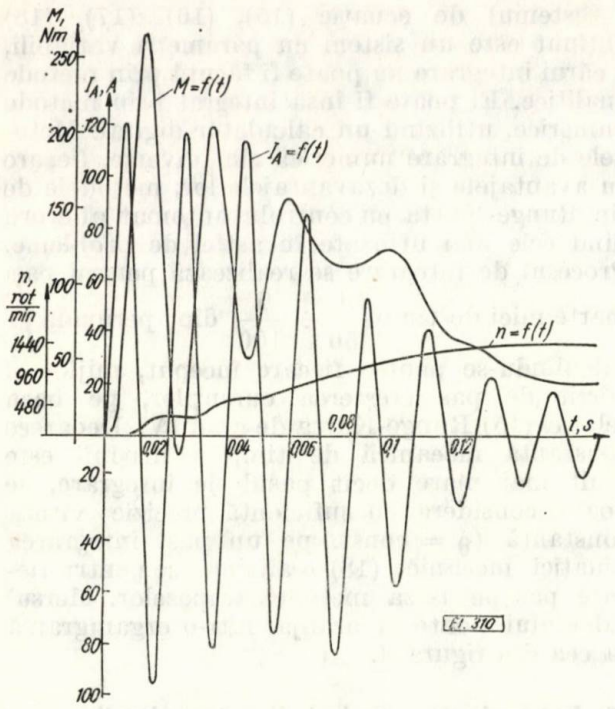


Fig. 4. Regimul de pornire.

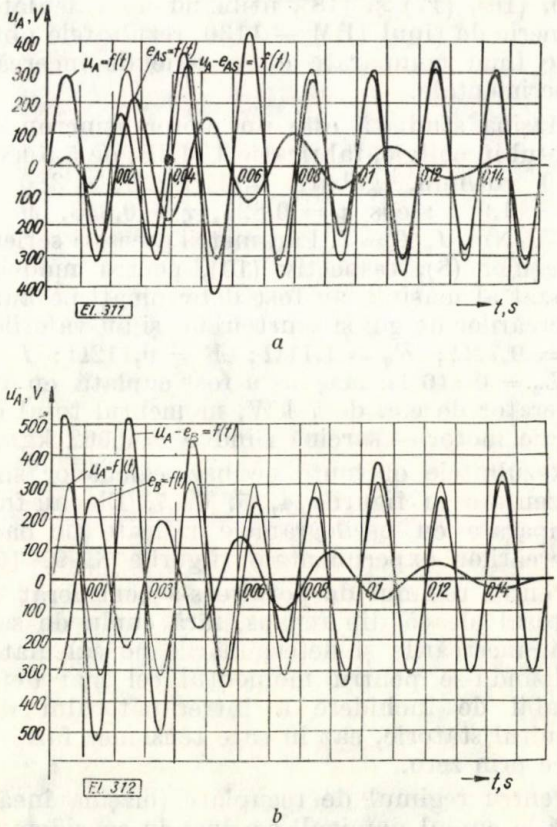


Fig. 5. Regimul de decuplare, a) compunerea tensiunilor pentru recuplare b) compunerea tensiunilor pentru cuplare inversă.

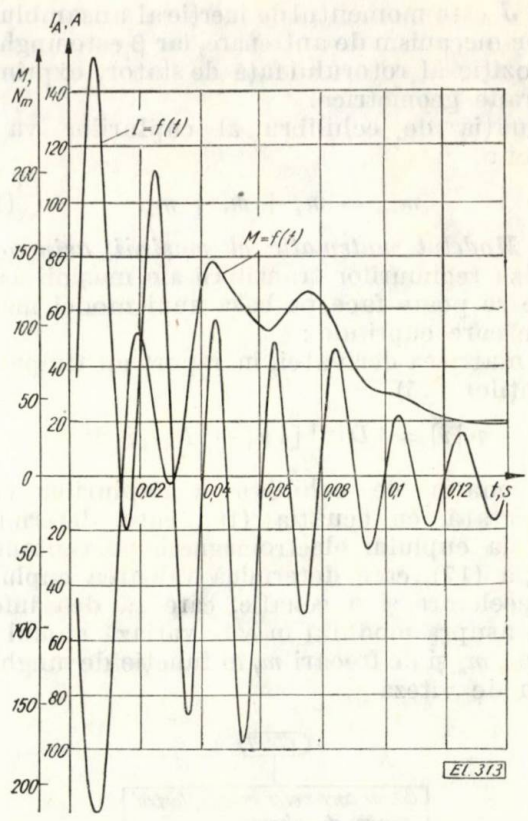


Fig. 6. Regimul de recuplare teoretic.

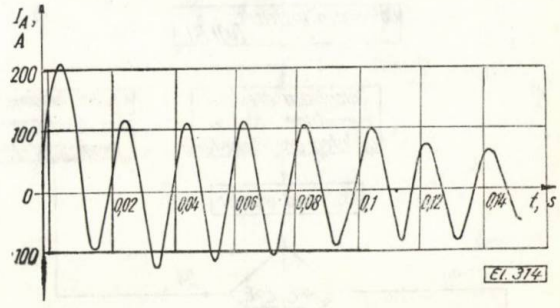


Fig. 7. Regimul de cuplare inversă teoretic.

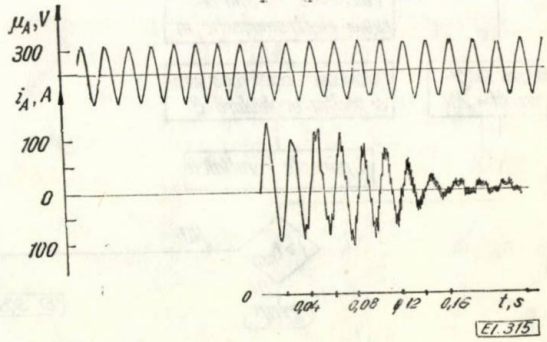


Fig. 8. Regimul de pornire, experimental.

tensiune electromotoare e_{AS} (pentru faza A), care scade ca amplitudine și frecvență în timp (figura 5). Se remarcă imediat că apare o alunecare între tensiunea de alimentare u_A și cea indusă la bornele motorului. După circa 0,065

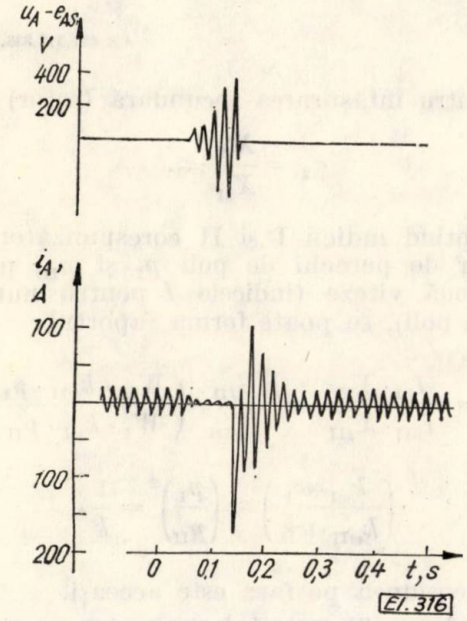


Fig. 9. Regimul de recuplare, experimental.

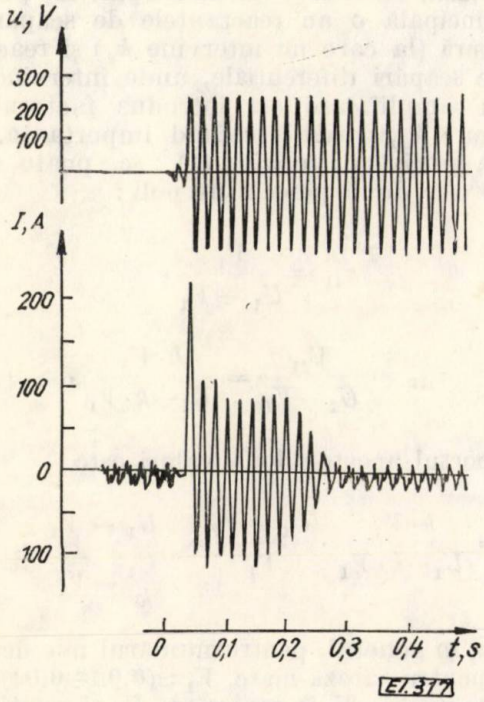


Fig. 10. Regimul de cuplare inversare experimental.

secunde diferența ($u_A - e_{AS}$) dintre aceste tensiuni atinge un maximum și, ca urmare, o recuplare, în momentul trecerii prin zero spre valoarea maximă, duce la apariția unor curenți de valoarea mai ridicată decît cei de pornire (fig. 9) (t = 0,066 s după decuplare).

Cuplarea inversă, cea mai dificilă, are loc atunci cînd diferența dintre tensiunea aplicată fazei A (fostă tensiune u_B) și t.e.m. indusă e_{AS} trece prin zero înaintea unui maxim (t = 0,019 s după decuplare).

Comparînd oscilogramele, ridicate experimental, și rezultatele teoretice, se remarcă concordanța foarte bună obținută : pornire 120A(T), 127A(E) ; recuplare 158 (T), 181A E ; cuplare inversă 210 A(T), 224 A(E)).

Datorită curenților rotorici remanenți, curenții de recuplare și cuplare inversă depășesc cu mult curenții de pornire, respectiv, 1,42 pentru recuplare și 1,78 pentru cuplare inversă, situație care trebuie luată în considerație în cazul alegerii aparaturii de conectare. Deosebit de interesantă se prezintă variația în timp a cuplului electromagnetic produs de mașină. Oscilațiile se datoresc componentelor aperiodice de curent ce apar la cuplare, valorile maxime instantanee depășind cu mult cuplurile maxime din regimul staționar.

Concluzii

Metoda prezentată permite determinarea unui model matematic corect ce caracterizează mașina, model care poate fi simulat pe un calculator numeric, rezultatele teoretice fiind foarte apropiate de cele obținute pe cale experimentală.

Curenții mașini în regim tranzitoriu depășesc cu mult curenții de scurtcircuit, măsurați în regim staționar, și, ca urmare, alegerea aparatajului de conectare pentru motoarele care lucrează în astfel de regimuri trebuie făcută corespunzător.

Variațiile de cuplu electromagnetic în regim tranzitoriu sînt foarte rapide și ele nu pot fi măsurate corespunzător cu aparatura actuală, verificarea rezultatelor realizîndu-se prin timpul, de pornire, care este legat de valoarea integrală a momentului instantaneu.

Bibliografie

[1] *Gheorghiu, I. S., Fransua, Al.* Tratat de mașini electrice vol. III, Editura Academiei 1971.
[2] *Măgureanu, R.* Mașini electrice speciale, vol. I, Institutul Politehnic București, 1973.
[3] *Krause, P. C., Thomas, C.H.* Simulation of symetrical induction machinery. In : Transactions of IEEE, 1965, p. 1038—1053.
[4] *Jordan, H.E.* Analysis of induction machines in dynamic sistems. In : Transactions of IEEE, 1965, p. 1080—1088.
[5] *Krause, P.C.* Method of multiple reference frames applied to the analysis of symetrical induction machinery. In : Transactions of IEEE, 1968, p. 218—227.
[6] *Eslin, N. C., Kaplan, W. M., Davies, J.L.* Influence of transient switching currents and fluxes on the torque developed by spuirrelcage induction motor. In : Proceedings IEE, 1966, p. 1035—1043.
[7] *Smith, I. R.* Transient performance of the induction motor. In : Proceedings IEE, p. 1173—1181.
[8] *Smith, I.R., Shriharan, S.* Induction motor reswitching transient. In : Proceedings IEE 1967 p. 503—609.
[9] *Flyun, F. P., Slater R. D., Wood, W. S.* Transient negative torques in induction motors due to rapid recconection of the supply. In : Proceedings IEE, 1969, p. 2009—2014.

Intrat în redacție la 15.V.1973

Probleme ale proiectării motoarelor de inducție cu poli comutabili

CONSTANTIN RĂDUȚ*—București

CZ 621.313.333.001.13

Răspîndirea utilizării motoarelor de inducție trifazate fără colector în acționările electrice din toate ramurile industriale, ca urmare a simplității construcției și fabricației, ușurinței exploatării, siguranței în funcționare și prețului de cost redus, a impus rezolvarea principalului neajuns al motoarelor de inducție—reglajul dificil al vitezei de rotație.

În cazul cînd o variație în trepte a vitezei de rotație este suficientă pentru nevoile acționării, folosirea motoarelor de inducție cu poli comutabili devine cea mai simplă și mai economică. Așa se explică fabricarea unor serii tot mai diversificate de motoare asincrone cu înfășurări comutabile, cu rapoarte de viteze nu numai de 2 :1 pentru care se utilizează și acum schema de comutare indicată de Dahlander, dar și pentru alte rapoarte ca, de exemplu, 3 :2, 4 :3, 3 :1, 4 :1 și altele. La Uzina de mașini electrice-București se află în fabricație o serie de motoare cu comutare de poli în raportul 2 :1, derivată din seria standard, precum și o serie de motoare pentru ascensor, cu raportul 4 :1, între vitezele de lucru.

În special pentru rapoartele mai mari, la proiectarea motoarelor asincrone cu comutare de poli, trebuie avute în vedere unele aspecte specifice, în caz contrar rezultînd soluții greșite, fără corespondență reală pe platforma de încercări. Nu ne vom referi în cele ce urmează la problemele privind alegerea încărcărilor electromagnetice, sau a înfășurărilor, tratate în [2], [4]; în schimb vom examina cîteva aspecte particulare în legătură cu :coeficienții de scăpări; dimensionarea rotorului comun; alegerea numărului de crestături pentru stator și rotor.

1. Coeficienții de scăpări

În calculele de dimensionare a înfășurărilor motoarelor cu mai multe viteze, adoptarea unor coeficienți de scăpări τ_1 și τ_2 recomandați în lucrările de specialitate [3], [10], în funcție de numărul de perechi de poli, ar conduce la rezultate eronate. După cum este cunoscut coeficientul de scăpări pentru înfășurarea primară (stator) are valoarea :

$$\tau_1 = \frac{I_\mu \cdot X_{s1}}{U_1 - I_\mu \cdot X_{s1}} = \frac{I_\mu \cdot X_{s1}}{E_1} \qquad (1)$$

iar pentru înfășurarea secundară (rotor) :

$$\tau_2 = \frac{X'_{s2}}{X_{s1}} \cdot \tau_1. \qquad (2)$$

Adoptînd indicii I și II corespunzători numerelor de perechi de poli p_I și p_{II}, pentru cele două viteze (indicele I pentru numărul mic de poli), se poate forma raportul :

$$\frac{V_I}{V_{II}} = \frac{I_{\mu I} \cdot X_{sI}}{I_{\mu II} \cdot X_{sII}} = \frac{U_{fII}}{U_{fIII}} \cdot \left(\frac{W_{II} \cdot k_{wII} \cdot p_I}{W_I \cdot k_{wI} \cdot p_{II}}\right)^2 \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{k_{wI} \cdot w_I}{k_{wII} \cdot w_{II}}\right)^2 \approx \left(\frac{p_I}{p_{II}}\right)^2 = \frac{1}{k}, \qquad (3)$$

dacă tensiunea pe fază este aceeași.

În relația (3) raportul curenților de magnetizare corespunde primilor doi factori din expresia extinsă. În reactanța de scăpări X_s ponderea principală o au reactanțele de scăpări în crestătură (la care nu intervine k_w) și reactanțele de scăpări diferențiale, unde intervine k_w. Pentru simplificare s-a introdus factorul de înfășurare k_w, corecția nefiind importantă. Cu aceste precizări relația (1) se poate scrie pentru cele două perechi de poli :

$$\tau_{1II} = \frac{V_I}{U_1 - V_I}, \qquad (4)$$

$$\tau_{1III} = \frac{V_{II}}{U_1 - V_{II}} = \frac{k \cdot V_I}{U_1 - k \cdot V_I}, \qquad (5)$$

iar raportul acestor două valori este :

$$\frac{\tau_{1III}}{\tau_{1II}} = \frac{k \cdot V_I}{U_1 - k \cdot V_I} \cdot \frac{U_1 - V_I}{V_I} = \frac{U_1 - V_I}{\frac{U_1}{k} - V_I}. \qquad (6)$$

Cum, în general, pentru numărul mic de poli adică pentru viteza mare, $V_I \approx (0{,}02 \div 0{,}04)\ U_1$, se poate neglija V_I în raport cu U_1 și relația (6) devine :

$$\frac{\tau_{1III}}{\tau_{1II}} = k = \left(\frac{p_{II}}{p_I}\right)^2. \qquad (7)$$

De exemplu, pentru un motor de 4 kW, 3 000 rot/min, se găsește în curbe [10] : $\tau_{1II} = 0{,}04$.

*Dr. ing. *C. Răduț* este directorul Uzinei de mașini electrice—București.

Pentru înfășurarea comutabilă, executată pe același circuit magnetic, va rezulta la $2p_{II} = 8$ poli :

$$\tau_{1II} = \left(\frac{4}{1}\right)^2 \cdot 0{,}04 = 0{,}64. \quad (8)$$

Dacă s-ar fi ales τ_{1II} din curbe [10], rezultatele calculelor ar fi fost cu totul eronate fiindcă s-ar fi contat pe o valoare a t.e.m. E mult mai mare decît în realitate (din curba $\tau = f(2p)$, se găsea $\tau_{1II} = 0{,}06$).

Coeficientul de scăpări al secundarului se poate scrie, în general :

$$\tau_2 = \frac{X'_{s2}}{X_{s1}} \cdot \tau_1. \quad (9)$$

Cum raportul $\frac{X'_{s2}}{X_{s1}}$ se păstrează pentru ambele numere de poli, rezultă că și pentru coeficienții de scăpări ai secundarului rămîne valabilă relația :

$$\frac{\tau_{2II}}{\tau_{2I}} = k = \left(\frac{p_{II}}{p_I}\right)^2. \quad (10)$$

Pentru motoare din categoria celui citat mai sus se găsește :

$\tau_{2I} = 0{,}05 \div 0{,}06$ și în consecință $\tau_{2II} = 0{,}8 \div 1$.

2. Stabilirea barei rotorice din condițiile de pornire pentru ambele viteze

Dacă prin alegerea înfășurării statorice se rezolvă cerințele impuse motorului, pentru funcționarea la anumite viteze, cu anumiți parametri energetici, asigurarea caracteristicilor de pornire a motorului depind de dimensionarea rotorului, respectiv a barei rotorice. În general, pentru pornire, se impun rapoartele :

$$k_i = \frac{I_p}{I_n} \text{ și } k_p = \frac{M_p}{M_n},$$

sau, raportul unic :

$$k_{ef_p} = \frac{k_p}{k_i} = \frac{M_p/M_n}{I_p/I_n}, \quad (11)$$

denumit coeficient de eficacitate al pornirii motorului.

Plecînd de la perechile de valori k_{i_I}, k_{p_I} și respectiv $k_{i_{II}}$, $k_{p_{II}}$, corespunzătoare numerelor p_I și p_{II} de perechi de poli, se pot stabili criteriile dimensionării coliviei rotorice care să corespundă pornirii pe ambele viteze.

În [8] se arată că dimensionarea barei, respectiv crestăturii, rezultă din expresia :

$$b_b \cdot b_c = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot K^2 \cdot f \cdot \rho \cdot l_b^2 \cdot 10^{-3}}{(R'_{2p} - K \cdot R'_i)^2}, \quad (12)$$

în care rezistența rotorului, raportată la stator, pentru $s = 1$, este :

$$R'_{2p} = \frac{n_s \cdot Z_p^2 \cdot M_p}{0{,}974 \cdot m_1 \cdot U_{f_1}^2} = \frac{n_s \cdot Z_p^2 \cdot k_p \cdot M_n}{0{,}974 \cdot m_1 \cdot U_{f_1}^2}, \quad (13)$$

iar impedanța de pornire se poate scrie :

$$Z_p = \frac{U_{f1}(1 + \tau_{2p})}{I_p} = \frac{U_{f1}(1 + \tau_{2p})}{k_i \cdot I_n}. \quad (14)$$

Pentru anumiți k_p și k_i impuși prin temă, se poate calcula, deci, produsul $b_b \cdot b_c$ (la colivii turnate $b_b = b_c$).

În cazul motoarelor cu poli comutabili, bara rotorică trebuie să satisfacă pentru ambele viteze caracteristicile de pornire :

$$b_b \cdot b_c = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot K_I^2 \cdot f \cdot \rho \cdot l_b^2 \cdot 10^{-3}}{(R'_{2p_I} - K_I \cdot R'_{II})^2} = \frac{4\pi^2 \cdot K_{II}^2 \cdot f \cdot \rho \cdot l_b^2 \cdot 10^{-3}}{(R'_{2p_{II}} - K_{II} \cdot R'_{i_{II}})^2}, \quad (15)$$

sau :

$$\frac{K_I^2}{(R'_{2p_I} - K_I \cdot R'_{i_I})^2} = \frac{K_{II}^2}{(R'_{2p_{II}} - K_{II} \cdot R'_{i_{II}})^2}. \quad (16)$$

Înlocuind valorile lui R'_{2p} din (13) și Z'_p din (14) se obține egalitatea :

$$\frac{K_I}{\frac{n_{sI} \cdot k_{pI} \cdot M_{nI}}{0{,}974 \cdot m_1 \cdot U_{fI}^2} \cdot \frac{U_{fI}^2}{(k_{iI} \cdot I_{nI})^2}(1 + \tau_{2p_I})^2 - K_I \cdot R'_{i_I}} =$$

$$= \frac{K_{II}}{\frac{n_{sII} \cdot k_{pII} \cdot M_{nII}}{0{,}974 \cdot m_1 \cdot U_{fII}^2} \cdot \frac{U_{fII}^2}{(k_{iII} \cdot I_{nII})^2}(1 + \tau_{2p_{II}})^2 - K_{II} \cdot R'_{i_{II}}}. \quad (17)$$

Relația (17) arată că nu se pot impune independent cei patru parametri de pornire k_{p_I}, $k_{p_{II}}$, k_{i_I} și $k_{i_{II}}$.

3. Simplificări și exemplificări

În cazul unui motor cu comutare de poli în raportul 4 : 1, conform celor arătate la punctul 1, rezultă :

$$\tau_{2p_I} = 0{,}05 \div 0{,}06 \text{ și } 1 + \tau_{p_I} \approx 1;$$

$$\tau_{2p_{II}} = 0{,}8 \div 0{,}96 \text{ și } 1 + \tau_{2p_{II}} \approx 2.$$

Tabela 1

$\frac{M_{p_I}}{M_{n_I}}$	$\frac{M_{p_{II}}}{M_{n_{II}}}$	M_{p_I} [N.m]	$M_{p_{II}}$ [N.m]	$I_{p_{II}}$			
				$I_{p_I} = 2{,}5 \cdot I_{n_I} = 23$ A	$I_{p_I} = 3 \cdot I_{n_I} = 27{,}6$A	$I_{p_I} = 3{,}5 \cdot I_{n_I} = 32{,}2$ A	$I_{p_I} = 4 \cdot I_{n_I} = 37{,}8$ A
2	1,5	76,5	57,4	12,8	15,3	17,9	21
2,1	1,5	80,4	57,4	12,5	14,9	17,5	20,5
2,2	1,5	84	57,4	12,2	14,6	16,9	20
2,3	1,5	88	57,4	11,7	14	16,4	19,2
2	1,6	76,5	61,1	13,3	15,9	18,5	21,7
2	1,7	76,5	65	13,7	16,4	19,1	22,2
2	1,8	76,5	69	14	16,8	19,6	23

Termenii $K_I \cdot R'_{i_I}$ și $K_{II} \cdot R'_{i_{II}}$ se pot neglija, fiind mai mici de 4 % din termenul din care se scad, la viteza mare și mai mici de 0,5 % pentru viteza mică. Cu aceste simplificări, relația (17) devine :

$$\frac{K_I \cdot I^2_{p_I}}{n_{sI} \cdot M_{p_I}} = \frac{K_{II} \cdot I^2_{p_{II}}}{n_{s_{II}} \cdot M_{p_{II}}}. \qquad (18)$$

Din cei patru parametri de pornire I_{p_I}, M_{p_I}, $I_{p_{II}}$ și $M_{p_{II}}$ trebuie propuși trei, al patrulea rezultînd univoc. De exemplu, la un motor de ascensor cu vitezele în raportul 4 : 1, care pornește pe viteza mare, dar trebuie să aibă un cuplu de pornire acceptabil și pe viteza mică, fără a fi interesați în mod deosebit de valoarea curentului de pornire pentru această viteză, se impun M_{p_I}, $M_{p_{II}}$, I_{p_I} și rezultă univoc $I_{p_{II}}$. După aceasta, dimensionarea barei se face conform relației (15) pentru oricare din viteze. În tehnica proiectării se trasează domeniile $I_{p_{II}} = f(I_{p_I})$ pentru anumite valori ale lui M_{p_I} și $M_{p_{II}}$, situate în limitele admise de condițiile impuse mașinii,, pe care se pot regla simultan toți parametrii.

Astfel, pentru motorul de ascensor de 4/1 kW, comutabil la cuplu constant, pentru vitezele 1 000/250 rot/min, avînd caracteristicile :

$$M_{n_I} \approx M_{n_{II}} = 38{,}3 \text{ N.m};$$

$$I_{n_I} = 9{,}2 \text{ A};$$

$$n_{s_I} = 1\,000 \text{ rot/min}; \quad K_I = 9221;$$

$$n_{s_{II}} = 250 \text{ rot/min}; \quad K_{II} = 23357;$$

și, la care există următoarele condiții impuse de normă :

$$\frac{M_{p_I}}{M_{n_I}} > 2; \quad \frac{M_{p_{II}}}{M_{n_{II}}} > 1{,}5; \quad \frac{I_{p_I}}{I_{n_I}} < 4,$$

se poate întocmi tabela 1 și se pot trasa domeniile din figura 1.

Trebuie însă examinat dacă soluția este totdeauna posibilă. Se poate demonstra, [8], că sub o anumită valoare a curentului de pornire, în

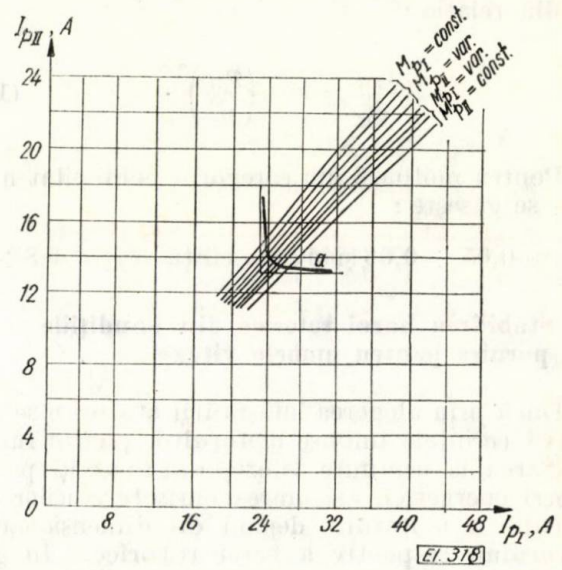


Fig. 1. Domeniile $I_{p_{II}} = f(I_{p_I})$ pentru M_{p_I} și $M_{p_{II}}$, impuse prin temă

cazul de față sub o pereche de valori I_{p_I} și $I_{p_{II}}$, nu se mai pot obține parametrii de pornire ceruți prin temă pentru cupluri. Domeniul din figura 1, compatibil cu datele problemei, se limitează la valorile din dreapa curbei *a*, alegînd caracteristicile de pornire din interdependența dată de relația (18).

Pentru motorul considerat mai înainte s-au obținut de exemplu parametrii :

$$M_{p_I} = 2{,}1 \cdot M_{n_I}; \quad I_{p_I} = 3{,}8 \cdot I_{n_I} = 35\text{A};$$

$$M_{p_{II}} = 1{,}5 \cdot M_{n_{II}}; \quad I_{p_{II}} = 16{,}2A;$$

calculînd o crestătură cu dimensiunile 1,5 × 25 mm.

4. Alegerea numărului de crestături pentru stator și rotor

În momentul comutării de la 2_{p_I} la $2_{p_{II}}$ poli, cîmpul magnetic din stator de proveniență p_I dispare practic instantaneu, în timp ce cîmpul magnetic al rotorului de proveninență p_I descreşte treptat. Armonicile noului cîmp magnetic din stator corespunzător la p_{II} perechi de poli, care se stabilesc de asemenea, instantaneu pot produce prin interferență cu armonicile cîmpului rotoric de proveniență p_I, care nu s-au stins încă, fenomene perturbatorii nedorite, sub formă de vibrații și fluierături, în perioada tranzitorie a comutării. Cantitativ, fenomenul poate fi analizat în felul următor : În regim staționar la 2_{p_I} poli curentul rotoric provenit din cîmpul fundamental cu 2_{p_I} poli produce cîmpuri armonice superioare rotorice de ordinul :

$$\mu_{p_I} = k_2 \cdot Z_2 + p_I. \tag{19}$$

Aceste cîmpuri superioare sînt cîmpuri învîrtitoare de forma :

$$b''_{\mu p_I} = B''_{\mu p_I} \cdot \cos \left\{ \mu_{p_I} \cdot \varphi' - \right.$$

$$\left. - \omega \left[1 + \frac{k_2 \cdot Z_2}{p_I} (1 - s_I) \right] \cdot t - \psi''_{\mu p_I} \right\}, \tag{20}$$

dacă se notează cu φ' coordonata locală într-un sistem cu originea într-un punct pe stator. Pentru un sistem de referință care se învîrtește odată cu rotorul mașinii, coordonata locală va fi definită de relația :

$$\varphi' = \omega_{mec} \cdot t + \varphi'', \tag{21}$$

care rezultă din explicativa din figura 2, ω_{mec} fiind viteza unghiulară a rotorului.

În consecință rezultă :

$$b''_{\mu p_I} = B''_{\mu p_I} \cdot \cos [\mu_{p_I} \cdot \varphi'' - s_I \cdot \omega t - \psi''_{\mu p_I}]. \tag{22}$$

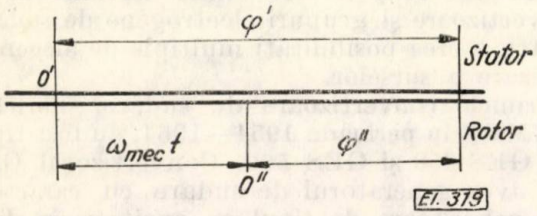


Fig. 2. Explicativă la relația (21).

Aceste cîmpuri rotorice superioare se deplasează față de rotor cu viteza unghiulară : $\frac{s_I \cdot \omega}{\mu_{p_I}}$.

Cînd se comută motorul pentru p_{II} perechi de poli, curentul rotoric produs de înfășurarea cu $2p_I$ poli trece sub formă de curent continuu ($s_I \cdot \omega = 0$), iar cîmpurile rotorice corespunzătoare :

$$b''_{\mu p_I} = B''_{\mu p_I} \cdot \cos [\mu_{p_I} \cdot \varphi'' - \psi''_{\mu p_I}], \tag{23}$$

se lipesc de rotor, învîrtindu-se odată cu acesta. Raportînd din nou expresiile acestor cîmpuri la sistemul de referință statoric se obține :

$$b''_{\mu p_I} = B''_{\mu p_I} \cdot \cos [\mu_{p_I} \cdot \varphi' - \mu_{p_I} \cdot \omega_{mec} \cdot t - \psi''_{\mu p_I}], \tag{24}$$

în care, amplitudinile $B''_{\mu p_I}$ se sting treptat cu constanta de timp a rotorului. Deoarece s-a afirmat că undele rotorice se sting mult mai greu decît cîmpurile statorului la deconectarea acestuia de la rețea, trebuie precizat că valoarea constantei de timp a rotorului este de 10—15 ori mai mare decît a statorului pentru motoarele asincrone cu rotorul în scurt circuit de putere mică și mijlocie.

Cîmpurile superioare rotorice de proveniență p_I interferează cu cîmpurile superioare statorice produse la comutarea pe p_{II} perechi de poli, a căror expresie este :

$$b'_{\upsilon_{p_{II}}} = B'_{\upsilon_{p_{II}}} \cdot \cos [\nu_{p_{II}} \cdot \varphi' - \omega t - \psi'_{\upsilon_{p_{II}}}], \tag{25}$$

în care :

$$\nu_{p_{II}} = p_{II}(6 k_1 + 1) \text{ și } k_1 = \pm 1, \pm 2, \cdots. \tag{26}$$

Fenomenele perturbării care apar (forțe de trepidație) ca urmare a acestor interferențe vor avea ordinul :

$$r = \mu_{p_I} \pm \nu_{p_{II}} = (k_2 Z_2 + p_I) \pm p_{II} (6k_1 + 1). \tag{27}$$

Pentru ca aceste forțe să nu aibă efecte puternice trebuie ca ordinul lor să fie diferit de valorile : 0, ± 1, ± 2, ± 3, ... cel puțin pentru armonicile de dentură, de primul ordin, ale statorului și rotorului, adică :

$$|(\pm Z_2 + p_I) \pm (\pm Z_1 + p_{II})| \neq 0, 1, 2, 3, \cdots. \tag{28}$$

Din această relație rezultă condițiile suplimentare pe care trebuie să le satisfacă motoarele cu mai multe viteze, sub aspectul alegerii crestăturilor Z_1 și Z_2, pentru ca să nu producă vibrații și zgomote la comutarea de la p_I la p_{II} perechi de poli :

$$\begin{aligned} |Z_2 - Z_1| &\neq |p_I \pm p_{II}| \\ &\neq |p_I \pm p_{II} \pm 1| \\ &\neq |p_I \pm p_{II} \pm 2| \\ &\neq |p_I \pm p_{II} \pm 3|. \end{aligned} \tag{29}$$

De exemplu, pentru un motor cu comutare de poli la valorile $p_{II} : p_I = 4 : 1$ condiția (29) devine :

$$|Z_2 - Z_1| \neq 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. \tag{30}$$

Trebuie avut în vedere că pentru numerele de perechi de poli $p_{II} : p_I = 8 : 2$ (deci tot raport de viteze 4 : 1) condiția (29) devine :

$$|Z_2 - Z_1| \neq 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, \quad (31)$$

adică, în fapt, trebuie considerat nu numai raportul numerelor de poli, dar și valorile acestora. De exemplu, perechea de numere de crestături $Z_1/Z_2 = 48/60$ convine pentru un motor cu vitezele 3000/750 rot/min, dar va conduce la forțe de trepidație de ordinul 2 în timpul comutării, pentru vitezele 1500/375 rot/min.

Fenomenele de mai sus au fost verificate experimental pe motorul de ascensor de fabricație UMEB cu vitezele de 1500/375 rot/min executat prima dată cu $Z_1/Z_2 = 96/108$ și care a trebuit să fie reproiectat la $Z_1/Z_2 = 96/124$.

5. Concluzii

Problemele ridicate la pct. 1, 2 și 4 nu epuizează nici pe departe particularitățile proiectării motoarelor cu poli comutabili, dar atrag atenția asupra dificultăților și neconcordanțelor care pot apare la platforma de încercări în cazul unei tratări sumare, sau, în orice caz, după o metodologie proprie motoarelor normale, a unor chestiuni specifice regimurilor de funcționare a motoarele cu mai multe viteze. În special motoarele cu rapoarte de viteze diferite de 2 : 1, pun probleme cu totul deosebite și crează un vast cîmp de cercetare, ce se cuvine a fi încă explorat.

Bibliografie

[1] *Gheorghiu I. S.* și *Fransua, Al. S.* Tratat de Mașini electrice. vol. III, Mașini asincrone, Ed. Academiei R. S. România, București, 1971.

[2] *Richter R.* Înfășurările mașinilor electrice. Editura tehnică, București, 1958.

[3] *Richter, R.* Mașini electrice Vol. IV, Mașini asincrone Ed. Tehnică, București, 1960.

[4] *Sequenz*, H. Die Wicklungen elektrischen Maschinen. I. Springer — Verlag, Wien, 1950.

[5] *Laithwaite E. R.* Induction Machines for Special Purpose. Mc. Graw, 1968, London.

[6] *Alger, P. L.* The Nature of Polyphase Induction Machines. New York, Mc. Graw — Hill, 1951.

[7] *Răduț C.* Motoare asincrone fără colector cu viteză variabilă. din Electrotehnica, nr. 7/1968.

[8] *Nicolescu E.* Proiectarea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit cu bare înalte, plecînd de la caracteristicile de pornire impuse. În : Electrotehnica, nr. 8/1968.

[9] *Jordan* H. Nutenzahlregeln und ihr Zusammenhang mit dem magnetischen Geräusch von Asynchronmaschinen, În : E.T.Z., A, Bd. 74/1953/ S. 637.

[10] *Postnikov*, L. M. Proiectarea mașinilor electrice. București, Editura energetică de Stat, 1954.

Intrat în redacție la 15. V. 1973

Perfecționarea surselor rotative pentru sudarea electrică cu arc în curent continuu

CONSTANȚIU POPESCU* — București

CZ 621.313.8:621.791.75

Tehnica sudării electrice ocupă un rol din ce în ce mai mare în principalele ramuri ale industriei moderne. Paralel cu perfecționarea vechilor procedee și elaborarea unor procedee noi de sudare, se dezvoltă și fabricația de surse pentru alimentarea arcului electric.

Începută cu aproape 25 ani în urmă, fabricația de surse pentru sudarea electrică, prin executarea mai întîi a unor transformatoare și apoi a diferite tipuri de convertizoare și grupuri electrogene de sudare cu arc electric în curent continuu, Uzina de mașini electrice-București este astăzi un important producător al utilajelor pentru sudare.

Pentru satisfacerea cerințelor noi, apărute an de an în tehnica sudării, datorită lărgirii și adîncirii domeniilor de aplicare și pentru a îmbunătăți continuu performanțele tehnico-economice ale surselor fabricate, au fost efectuate permanent lucrări de cercetare și perfecționare, în scopul modernizării fabricației și asimilării de noi tipuri de surse. S-a urmărit, în principal, îmbunătățirea proprietăților de sudare, adaptarea surselor la noi metode și materiale de sudare, micșorarea greutății și gabaritului surselor, îmbunătățirea randamentului și factorului de putere, mărirea siguranței în funcționare, simplificarea muncii de exploatare și întreținere, îmbunătățirea condițiilor de lucru, în ceea ce privește securitatea muncii. În același timp a fost mărit sortimentul de convertizoare și grupuri electrogene de sudare, pentru a crea posibilități multiple de alegere și utilizare a surselor.

Primele convertizoare de sudare, fabricate la UMEB în perioada 1954—1964, au fost tipurile GES 350 și GES 500. Convertizorul GES 350 avea generatorul de sudare cu caracteristici coborîtoare, de tipul cu excitație în derivație și cu poli divizați. Convertizorul GES 500 avea generatorul cu caracteristici statice coborîtoare de tipul cu excitație în derivație și înfășurare serie antagonistă. Aceste surse aveau bune proprietăți de sudare însă pe un domeniu restrîns de curenți.

Dezavantajul principal era imposibilitatea de a suda cu curenți mici și caracteristicile statice prelungite spre curenți de scurtcuit mari, favorizînd stropirea în timpul sudării. Prelungirea caracteristicilor spre curenți mari se datora

* Ing. *C. Popescu* este șef de serviciu la UMEB.

faptului că tensiunea de excitaţie, (obţinută între o perie principală şi una auxiliară) nu rămînea constantă, ci creştea uşor odată cu creşterea sarcinii. Domeniul de reglaj al curentului de sudare, raportat la tensiunile de lucru standardizate astăzi era de 1 :4 la tipul GES 350 şi 1 :6 la tipul 500, iar greutăţile specifice erau de 59 kg/kW la tipul GES 350 şi 54,2 kg/kW la tipul GES 500.

Pentru modernizarea fabricaţiei de generatoare pentru sudare, au fost executate în 1958—1961 laborioase lucrări de cercetare, calcul şi proiectare, urmărindu-se în principal: scăderea greutăţii specifice; îmbunătăţirea caracteristicilor statice şi dinamice; mărirea domeniului de reglaj.

Au fost realizate în acea perioadă două tipuri de surse, care s-au limitat la faza de prototip. Ele nu au fost puse în fabricaţie deoarece performanţele tehnico-economice nu au satisfăcut pe deplin obiectivele propuse.

Tipul GES 350C, construit ca o variantă îmbunătăţită a tipului GES 350, cu 120 kg mai uşor, a avut o greutate specifică de 47,5 kg/kW, iar tipul GES 350B, la 3000 rot/min. a atins o greutate specifică de 37,6 kg/kW. Ambele generatoare erau de tipul cu poli divizaţi, aveau bune proprietăţi de sudare dînd satisfacţie deplină din punct de vedere al exploatării. Domeniul de reglaj a fost îmbunătăţit, ajungîndu-se la 1 :5 faţă de 1 :4 la tipul GES 350. În schimb, cu toate că s-a perfecţionat o metodă de calcul a acestor tipuri de generatoare, nu au fost îmbunătăţite suficient caracteristicile statice şi dinamice ale surselor. Deşi a fost proiectat un circuit magnetic optim, în ce priveşte saturaţia diferită a polilor divizaţi (optim bineînţeles în limita admisă de gabaritul şi greutatea propusă), tensiunea de excitaţie culeasă din conductorii aflaţi sub polii saturaţi, creştea uşor odată cu sarcina, prelungind caracteristicile spre curenţi de scurtcircuit mari.

Obiectivele propuse pentru modernizarea fabricaţiei de generatoare pentru sudare, au fost atinse prin fabricarea începînd cu 1962 a tipurilor de convertizoare CS. 350, CS. 3, CS. 500 şi CS. 5, şi tipurile de grupuri electrogene de sudare GTS. 350 şi GTS. 500, aflate în fabricaţie şi în prezent (tabela 1). Toate aceste surse au generatorul de tipul cu excitaţie separată şi excitaţie serie antagonistă. La convertizoare, excitaţia separată se obţine de la redresoare cu seleniu sau siliciu, alimentate de la reţea, iar la generatoarele grupurilor electrogene, excitaţia separată este asigurată de o excitatoare de curent continuu la tipul GTS. 500 şi de un generator sincron fără bobinaj pe rotor la GTS. 350.

Reglarea curentului de sudare se face pe cîteva domenii de reglaj corespunzătoare la diferite numere de spire ale înfăşurării serie antagoniste şi în cadrul fiecărui domeniu, prin reglarea curentului de excitaţie separată. La tipurile CS. 350 şi CS. 500, reglajul curentului de excitaţie se obţine cu un amplificator magnetic, iar tipurile CS. 3 şi CS. 5 sînt derivate, în construcţie mai robustă, destinate unor condiţii mai grele de lucru.

Faţă de vechile tipuri de surse, noua serie fabricată are multiple posibilităţi de utilizare, reglaj şi control al regimului de sudare, dintre care cele mai importante sînt: adaptarea convertizorului pentru oricare din tensiunea de reţea trifazată 220, 380, 440, 500 V, în cîteva minute, prin schimbarea unor barete la o placă de borne; schimbarea polarităţii la electrod prin acţionarea unui comutator; reglarea la distanţă a curentului de sudare (la CS. 350 şi CS. 500); controlul curentului de sudare pe aparate de măsură; reglajul continu al curentului de sudare etc.

Greutatea specifică a fost scăzută la tipul CS. 350 la 39,8 kg/kW (reducere de 32,6% faţă de GES.350), la 32 kg/kW la CS. 500 şi la 30 kg/kW la CS.5 (reducere de 49,2 % faţă de GES. 500). Domeniul de reglaj a fost mărit la 1 :7,4 la CS. 350 şi la 1 :12,5 la CS. 500· Concomitent cu posibilităţile multiple de utilizare şi performanţele economice arătate mai sus, generatoarele acestei serii de surse rotative au o bună aptitudine de sudare. Aceasta a fost verificată atît prin metoda subiectivă cu sudor, cît şi prin metodele obiective ale factorului Carrer şi ale criteriului vitezei de restabilire a tensiunii.

Potrivit metodei propusă de prof. ing. A. Carrer, raportul:

$$\rho = \frac{I_{min}}{I_{med}}$$

în care: I_{min} este curentul minim care apare după scurtcircuitul produs la trecerea unei picături de metal în baia de metal topit, iar I_{med} este valoarea medie a curentului în regim stabilizat, trebuie să fie mai mare de 0,7. Raportul a fost determinat în cursul operaţiilor de sudare cu electrozi bazici (la care transferul de metal de la electrod la cusătură se face prin picături şi, deci, stabilitatea arcului este pusă în dificultate) şi cu valori reduse ale curenţilor de sudare, pentru a pune generatorul în cea mai dificilă situaţie în ceea ce priveşte aprinderea şi stabilitatea arcului electric.

Aceste determinări au fost făcute pentru diferite diametre de electrod şi în diferite domenii de reglaj, obţinîndu-se la tipul CS.350 un factor Carrer de 0,78...0,82, iar la tipul CS.500 0,8...0,895, valori care indică o bună aptitudine de sudare. De asemenea, viteza de restabilire a tensiunii la trecerea bruscă de la scurtcircuit la mersul în gol este mult mai bună decît limita recomandată de standarde.

Este de menţionat că lucrările de cercetare şi perfecţionare a surselor, în legătură cu aptitudinea de sudare, au fost stimulate de discuţiile şi recomandările colocviului ţinut la Timişoara în ianuarie 1967 cu tema : „Comportarea dinamică a surselor pentru sudarea cu arc electric" şi de apariţia STAS 8143—68 pentru generatoare şi convertizoare de sudare (elaborat de UMEB), primul standard care impune verificarea calităţilor dinamice prin metoda Carrer.

Convertizorul CS.500 a fost construit cu caracteristica statică reglabilă (simbol CSCRU conform STAS 8143—68), putînd funcţiona cu caracteristică coborîtoare sau rigidă (orizontală sau uşor crescătoare). Această posibilitate de reglaj permite folosirea convertizorului la diferite procedee de sudare manuală cu electrod învelit, în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil (MIG), sau cu electrod nefuzibil (TIG sau WIG), sudare sub strat de flux, tăierea cu electrozi şi crăiţuire arc-aer.

Pentru studiul şi verificarea caracteristicilor dinamice la sudarea în CO_2 cu electrod fuzibil, s-a determinat viteza de creştere a curentului cînd se produc scurtcircuitele provocate de trecerea picăturilor în baia de metal topit. Dacă această viteză este prea mică, între electrod şi cusătură nu se formează gîtuirea pentru a cădea picătura de metal, iar sîrma ajunge netopită în baie, iar dacă este prea mare, în momentul cînd picătura atinge baia de metal topit, forţele electrodinamice mari strangulează puntea de metal topit, împiedică trecerea picăturii în baie, puntea de metal se supraîncălzeşte arzînd cu explozie, iar picătura este împroşcată în afară.

La încercări s-a folosit sîrma de sudare S 11 M 2 S pentru sudarea unor cusături orizontale cu un semiautomat de sudare în CO_2 şi s-au determinat vitezele de 43,3...60,5 KA/s la sîrma de 1,2 mm şi 33,5...57,2 KA/s, la sîrma de 1,6 mm, valori ce se încadrează în limitele recomandate în literatura de specialitate.

Experienţa acumulată în proiectarea şi fabricarea surselor de sudare, precum şi necesitatea de continuă modernizare şi perfecţionare tehnico-economică a produselor, au condus la realizarea în ultimul timp a noi surse de sudare, care au intrat în fabricaţie în acest an. Noile convertizoare sînt proiectate la turaţia de 3000 rot/min, şi au caracteristicile din tabela 1. Tipul CS. 315, faţă de tipul CS.350, are acelaşi domeniu mare de reglaj, aceleaşi posibilităţi multiple de utilizare, şi o greutate specifică de 27,9 kg/kW, adică o reducere de 30% faţă de tipul CS. 350. Caracteristicile statice ale acestui tip sînt indicate în figura 1, iar schema electrică în figura 2. Faţă de tipul CS. 350 noul tip are tensiunea de mers în gol mai mare, ceea ce asigură o aprindere şi mai bună a arcului electric. Reglarea curentului de sudare este

Tabela 1

Tipurile de surse de sudare în c.e. fabricate la U.M.E.B.

Felul sursei	Tipul	Simbol STAS 8143—68	Regim maxim			Regim nominal			Regim continuu		Domeniu de reglaj		Turaţie, rot/min	Motor antrenare	Puterea motorului	Tensiunea motorului V	Greutatea-kgf
			DA %	U, V	I, A	DA, %	U, V	I, A	U, V	I, A	Limita inferioară	Limita superioară					
Convertizor	CS.350	CSC	35 %	34	370	55 %	32	330	28	245	50A 22V	370A 34V	1450	asincron	14 kW	220/380/440/500	420
	CS.3	CSC	35 %	35	370	60 %	32	315	30	245	50A 22V	370A 35V	1450	asincron	11 kW	220/330/440/500	410
	CS. 500	CSCRU	35 %	44	625	55 %	38	500	34	370	50V 22V	625A 44V	1450	asincron	21kW	380/440/500	610
	CS. 5	CSC	35 %	44	625	60 %	40	500	35	370	50A 22V	625A 44V	1450	asincron	21 kW	380 500	600
Grup electrogen	GST.350	GSC	35 %	34	370	55 %	32	330	28	245	50A 22V	370A 34V	1500	Diesel	45 CP	—	1600
	GST.500	GSC	—	—	—	55 %	38	500	34	370	50A 22V	500A 38V	1500	Diesel	45 CP	—	1740
Convertizor	CS.315	CSC	35 %	35	370	60 %	33	315	30	240	50A 22V	370A 35V	3000	asincron	12 kW	220/380/440/500	290
	CS. 125	CSC	35 %	26	160	60 %	25	125	24	95	25A 21V	160A 26V	3000	asincron	4,6kW	220/380/440/500	130

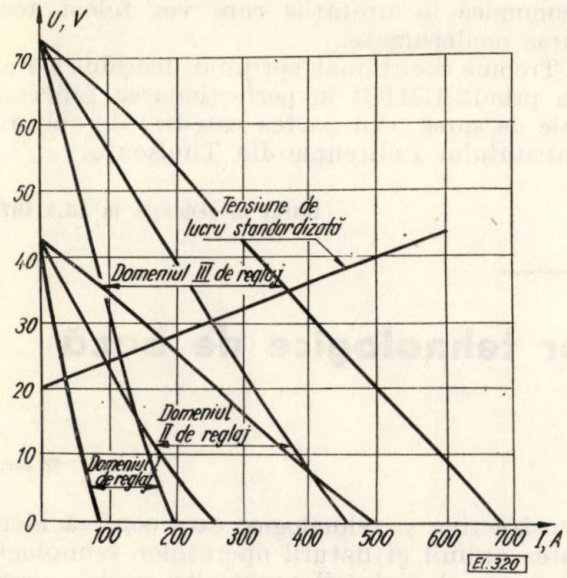


Fig. 1. Caracteristicile statice ale convertizorului CS.315

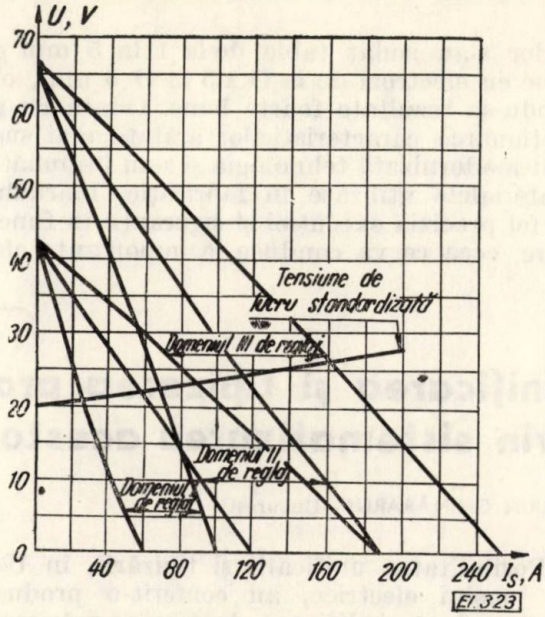
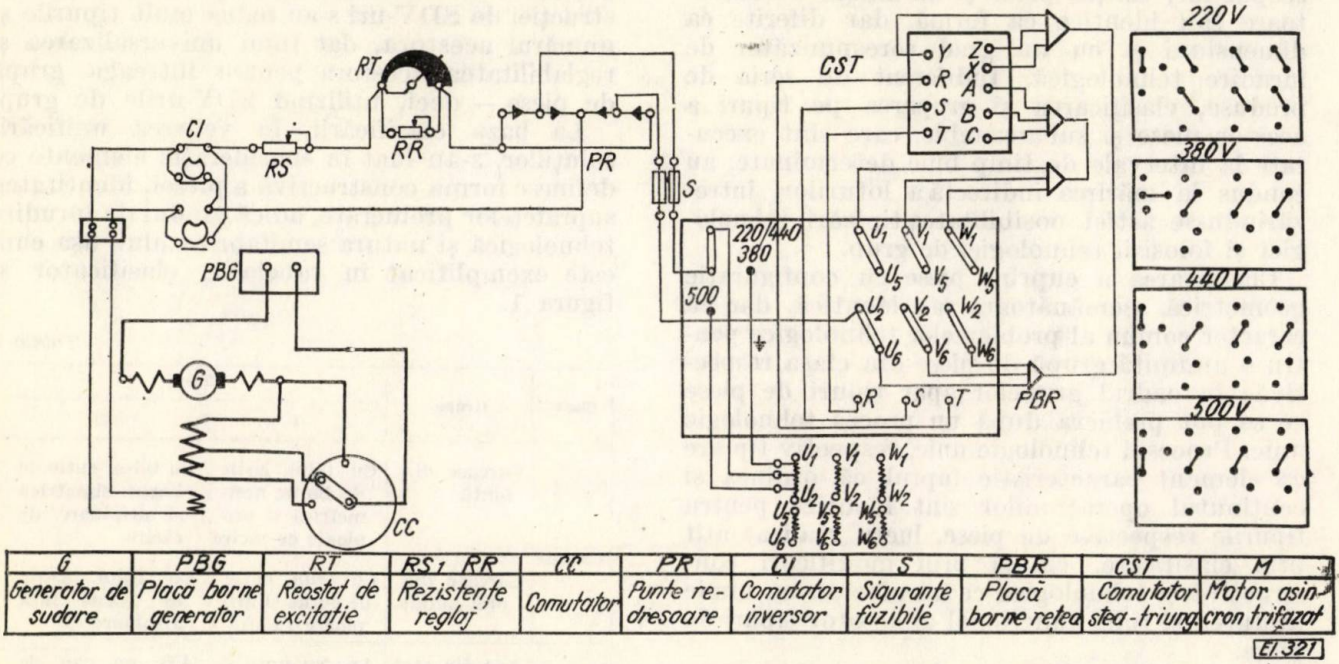


Fig. 4. Caracteristicile statice ale convertizorului CS. 125



G	PBG	RT	RS, RR	CC	PR	CI	S	PBR	CST	M
Generator de sudare	Placă borne generator	Reostat de excitație	Rezistențe reglaj	Comutator	Punte redresoare	Comutator inversor	Siguranțe fuzibile	Placă borne rețea	Comutator stea-triunghi	Motor asincron trifazat

Fig. 2. Schema electrică a convertizorului CS. 315

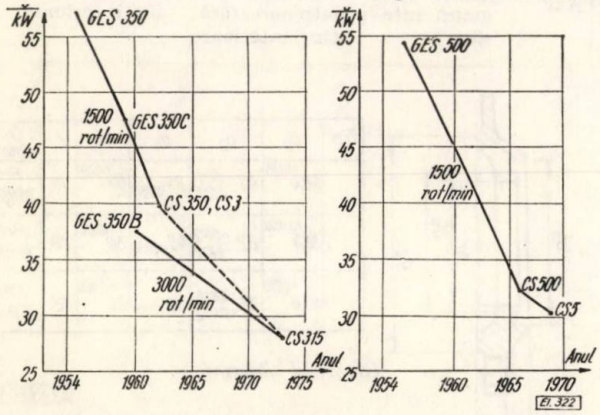


Fig. 3. Dinamica greutății specifice a surselor de sudare fabricate la U.M.E.B.

ușurată, avînd tot reglaj continuu realizat numai cu trei domenii de reglaj.

Pentru a evidenția efectele economice ale modernizării surselor de sudare, în figura 3 este indicată greutatea specifică obținută în decursul anilor, la sursele de 315A și 500A, proiectate și fabricate.

Tipul CS.125 cu caracteristicile indicate în tabela 1, lărgește domeniul de dimensiuni ale pieselor care pot fi sudate cu sursele UMEB. Caracteristicile statice sînt indicate în figura 4, iar schema electrică este similară cu cea a convertizorului CS.315.

CS 125 are o bună aptitudine de sudare, factorul Carrer este 0,837, iar la încercările cu

sudor s-au sudat table de la 1 la 5 mm grosime cu electrozi de la Ø 1,5 la Ø 5 mm, obţinîndu-se rezultate foarte bune. Odată cu perfecţionarea caracteristicilor arătate mai sus, a fost modernizată tehnologia şi s-au îmbunătăţit materialele utilizate în fabricaţie, mărindu-se astfel precizia execuţiei şi siguranţa în funcţionare, ceea ce va conduce la importante efecte economice în unităţile care vor folosi aceste surse modernizate.

Trebuie menţionat sprijinul deosebit pe care l-a primit UMEB în perfecţionarea fabricaţiei sale de surse, din partea catedrei de sudură a Institutului Politehnic din Timişoara.

Intrat în redacţie la 15.V.1973

Unificarea şi tipizarea proceselor tehnologice de bază prin sistematizarea acestora

MARIN GHINĂRARU* — Bucureşti

CZ 658. 516

Posibilitatea unificării şi tipizării, în Uzina de maşini electrice, au conferit-o produsele, în sensul că, indiferent de forma, mărimea şi scopul lor, conţin piese şi ansamble asemănătoare sau identice ca formă, dar diferite ca dimensiuni şi cu un grad corespunzător de înrudire tehnologică. Indiferent de seria de produse, clasificarea şi gruparea pe tipuri a acestor piese şi subansamble, care sînt executate la intervale de timp bine determinate, au condus la mărirea indirectă a loturilor, întrezărindu-se astfel posibilitatea tipizării tehnologiei şi folosirii tehnologiei de grup.

Clasificarea a cuprins piese cu configuraţie geometrică asemănătoare sau identică, dar cu caracter comun al problemelor tehnologice pentru o anumită grupă de piese din clasa respectivă; în cadrul grupelor apar tipuri de piese ce se pot prelucra după un proces tehnologic unic. Procesul tehnologic unic, respectiv tip are ca element caracteristic faptul că ordinea şi conţinutul operaţiunilor sînt identice pentru tipurile respective de piese, lucru realizat atît prin clasificare, cît şi prin modificări constructive şi tehnologice ce nu afectau cu nimic calitatea şi rolul funcţional al acestor tipuri de piese.

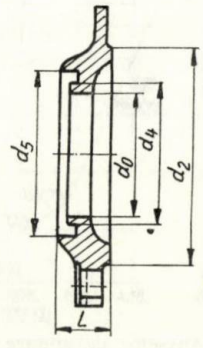
La prelucrarea de grup, procesul tip devine complex întrucît trebuie să satisfacă gradul de înrudire tehnologică corespunzător tipurilor de piese din grupa respectivă, pentru a căror prelucrare au fost necesare utilaje de acelaşi tip, SDV-uri comune, precum şi reglaje comune ale maşinilor-unelte. Acest procedeu se utilizează la operaţii singulare şi la executarea completă a unor grupe de piese ce se încadrează în condiţiile expuse. În acest fel, nu mai proiectăm atîtea procese tehnologice cîte piese există şi nici nu mai dotăm acestea cu cantităţile respective de unităţi de echipament tehnologic — SDV-uri.

Sistematizarea proiectării proceselor tehnologice este un rezultat al unificării soluţiilor constructive şi tehnologice care conferă identitatea ordinii şi naturii operaţiilor tehnologice, deci, nu al tipizării proceselor vechi, acestea abandonîndu-se. În domeniul proiectării şi construcţiei de SDV-uri s-au redus mult tipurile şi numărul acestora, dat fiind universalizarea şi reglabilitatea acestora pentru întreaga grupă de piese — deci, utilizînd SDV-urile de grup.

La baza clasificării, în vederea unificării soluţiilor, s-au luat în consideraţie elemente ce definesc forma constructivă a piesei, identitatea suprafeţelor prelucrate, adică gradul de înrudire tehnologică şi natura semifabricatului, aşa cum este exemplificat în tabela 1, clasificator şi figura 1.

Tabela 1

Clasa	Grupa	Tipul	
		I	II
Carcase	Carcase din fontă	Cu tălpi, cutie de borne nesimetrică şi aripioare de răcire	Cu tălpi, cutie de borne simetrică şi aripioare de răcire
	Carcase din oţel sudat	Cu tălpi, cutie de borne şi aripioare sudate	Cu tălpi, cutie de borne fără aripioare
Axe	Axe din oţel, cu şi fără gaură interioară	Axe cu unul şi două capete de antrenare, fără găuri interioare	Axe cu cap de antrenare şi găuri interioare



Tip	d_0	d_2	d_4	d_5	L	Nr. desen
	$28{,}4^{+0{,}045}$	$47^{-0{,}010}_{-0{,}027}$	$35_{-0{,}050}$	$42^{+0{,}050}$	18	PM 36084
	$36{,}4^{+0{,}050}$	$62^{-0{,}012}_{-0{,}032}$	$43_{-0{,}050}$	$50^{+0{,}050}$	18	PM 36085
	$43{,}6^{+0{,}050}$	$72^{-0{,}012}_{-0{,}032}$	$50_{-0{,}050}$	$57^{+0{,}060}$	18	PM 36086

Capacelul labirint

EI. 324

Fig. 1

* Ing. *M. Ghinăraru* este şeful secţiei de cercetare-proiectare tehnologie la U.M.E.B.

Procese tehnologice și echipament de SDV-uri sistematizate. Prelucrarea simultană a găurilor de prindere la scuturi.

Procesul tehnologic este un rezultat al unificării soluțiilor constructive și tehnologice. Pe lîngă aceasta, s-a căutat să se realizeze atît suprapunerea fazelor de prelucrare, cît și rezolvarea unor acțiuni auxiliare, care să fie efectuate în timpul executării operațiunii de bază. Această necesitate tehnologică, modernă și eficientă, a putut să-și atingă scopul numai folosind mașini-unelte și SDV-uri corespunzătoare, așa cum rezultă din fișa tehnologică respectivă (tabela 2).

Concepția de sistematizare a proiectării dispozitivului era dată de tema tehnologică, înscrisă în fișa respectivă, astfel încît aceasta să asigure, prin schimbarea unor elemente, prelucrarea tuturor pieselor din grupa respectivă, iar în timpul prelucrării să rezolve și strîngeri, fără intervenția lucrătorului; atît pentru încărcare, cît și pentru descărcare. În timpul prelucrării, două brațe mecanice asigură aceasta în mod succesiv.

Dispozitivul prezentat în figura 2 este un dispozitiv de grup.

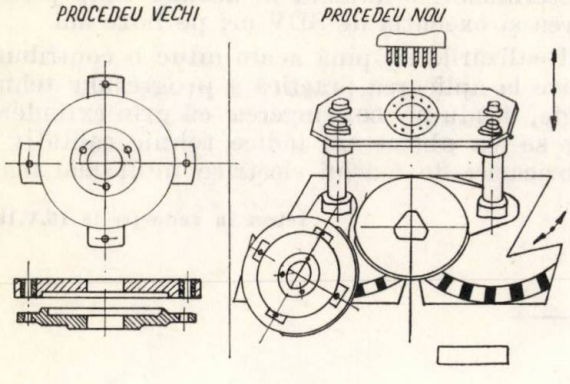


Fig. 2

Prelucrarea prin deformare plastică la rece a cilindrilor

Procesul tehnologic vechi prevedea executarea din tablă a cilindrilor pentru carcase, prin forjare manuală, ceea ce constituie o metodă învechită, cu consum mare de efort uman, productivitate mică și calitate slabă. Procesul nou elimină toate aceste neajunsuri, mecanizînd operația respectivă prin realizarea unor SDV-uri corespunzătoare, așa cum sînt prezentate în figura 3.

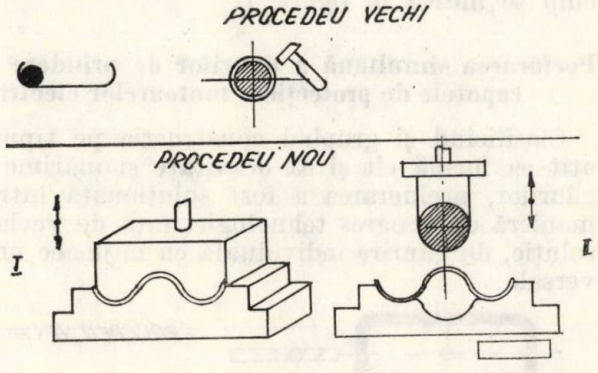


Fig. 3

Fișa tehnologică: Prelucrare scuturi *Tabela 2*

	Mașina	Dispozitivul	Produsul
A — *Procedeu vechi* *Găurire* : — Prindere scut pe masa manșinii; — fixare dispozitiv de găurire pe scut — găurire 9 găuri, gaură cu gaură; — demontare dispozitiv ; — demontare scut ; — evacuare.	Mașină de găurit universală	Dispozitiv singular specific, pe reper	CS—350
B — *Procedeu nou* *Găurire* : — Strîngerea scut și găurirea simultană a 9 găuri, cu timpul de alimentare și evacuare suprapus peste timpul de găurire	Mașina de găurit multi-broșe	Dispozitiv de grup	CS—350 CS—315 CS—500 ASI 225—280 AFI 225—280 M2 gab. 4—7

Debitarea semiautomată cu flacără oxiacetilenică a ferestrelor cilindrilor de carcasă

Debitarea manuală era o operație neproductivă, lucrătorul fiind nevoit să-și distribuie atenția și efortul atît asupra lucrului în sine,

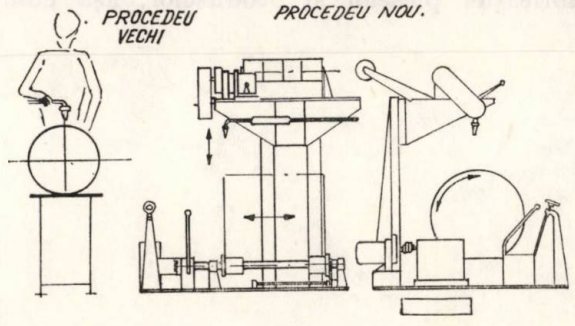


Fig. 4

cît și asupra fixării și manevrării prin rotire a piesei. Prin unificarea tipodimensiunilor de cilindri și ferestre s-a proiectat o tehnologie care a mecanizat atît operația de așezare și rotire a piesei, cît și mișcările aparatului de tăiere (suflaiul) în cadrul conturului ferestrelor, așa cum se indică în figura 4.

Perforarea simultană a găurilor de prindere la capotele de protecție a motoarelor electrice

Clasificînd și grupînd construcția pe tipuri, atît ca formă cît și ca orientare și mărime a găurilor, prelucrarea a fost soluționată într-o manieră de progres tehnologic, față de vechea soluție, de găurire individuală cu mijloace universale.

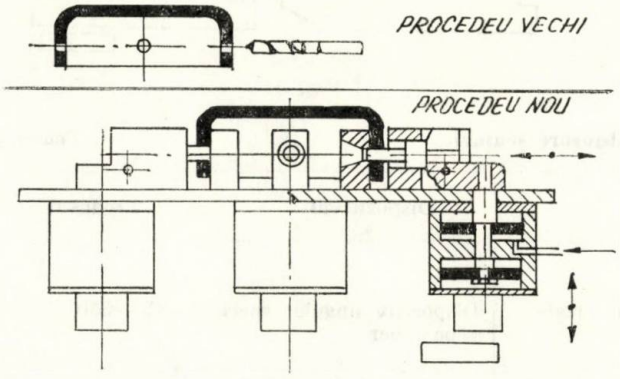


Fig. 5

Dispozitivul de grup din figura 5 satisface necesitatea tehnologică impusă de găurirea simultană, și fixarea, fără intervenția lucrătorului, poansoanele de perforare fiind acționate de cilindrii pneumatici.

Formarea mecanizată a papucilor de cablu

Formarea manuală a papucilor constituie o metodă rudimentară, care nu asigură productivitatea necesară, întrucît aceste piese se execută în serie mare. Unificînd forma constructivă s-au creat tipodimensiuni ce se obțin prin ștanțare și apoi formare mecanizată, necesitate tehnologică soluționată de concepția sistematizată a SDV-ului din figura 6.

Scopul final al perfecționării proceselor tehnologice este îndreptat spre realizarea eficientă a fabricației pieselor și produselor, așa cum a rezultat din procesele tehnologice prezentate, de unde au ieșit în evidență următorii factori economici, care exprimă creșteri procentuale față de procesele vechi:

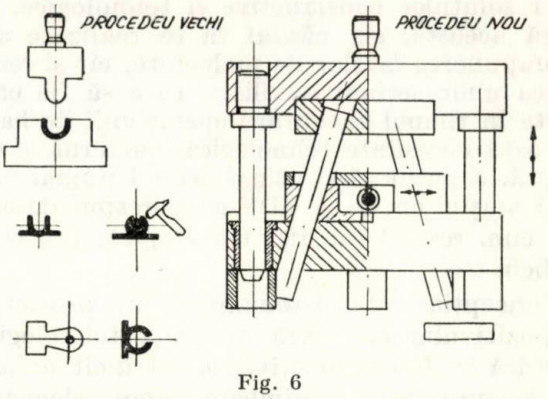


Fig. 6

— creșterea cu circa 50% a productivității muncii prin:
  - suprapunerea operațiilor, fazelor mînuirilor etc.;
  - suprapunerea acțiunilor auxiliare cu cele de bază;
  - prelucrarea simultană a mai multor găuri, suprafețe etc.

— reducerea cu circa 20% a ciclului de fabricație, prin scurtarea timpului de execuție a pieselor;

— creșterea calității prelucrărilor, prin mecanizarea operațiilor, eliminînd munca manuală și factorii subiectivi cu influență negativă, reducînd rebuturile și remanierile, din vina lucrătorului, în proporție de 100% practic;

— creșterea gradului de utilizare a utilajelor, mașinilor-unelte și SDV-urilor, cu circa 15%;

— reducerea cu circa 30% a numărului de SDV-uri și creșterea gradului de utilizare a materialelor, stimulînd în același timp proiectarea și execuția de SDV-uri pe baze noi.

Realizările de pînă acum aduc o contribuție mare la aplicarea practică a progresului tehnologic, dîndu-ne convingerea că prin extinderea lor se va obține un indice tehnic calitativ al fabricației de mașini electrice mult mai înalt.

Intrat în redacție la 15.V.1973

INVENŢII—INOVAŢII

Activitatea de invenţii, inovaţii şi raţionalizări la uzina de maşini electrice—Bucureşti

Concretizarea sarcinilor trasate de Congresul al X-lea al P.C.R., care accentuează importanţa folosirii tuturor factorilor principali ce contribuie la dezvoltarea progresului tehnic, la introducerea şi aplicarea tehnicii noi în procesele de producţie din toate ramurile economiei naţionale în interesul construcţiei socialismului, este marcată la Uzina de maşini electrice — Bucureşti şi prin activitatea de invenţii, inovaţii şi raţionalizări. Această activitate a căpătat un caracter de masă, antrenînd un număr tot mai mare de salariaţi, care, ca autori ai unor invenţii, inovaţii şi raţionalizări cu caracter tehnic ridicat, îşi aduc aportul lor prin cucerirea a ceea ce este nou în tehnica modernă, prin căutarea, găsirea şi aplicarea unor noi procedee constructive şi tehnologice în procesele de producere a produselor uzinei, a perfecţionării utilajelor, prin descoperirea şi valorificarea rezervelor interne.

Toate acestea au ca scop sporirea productivităţii muncii, obţinerea unor produse cu preţ de cost scăzut, cu parametri îmbunătăţiţi, competitive pe piaţa mondială, a unor agregate şi instalaţii de fabricaţie indigenă, care să poată rivaliza cu cele ce ar fi trebuit importate, contribuind la autoutilarea uzinală.

În acest context, se va prezenta situaţia evoluţiei propunerilor de invenţii, inovaţii şi raţionalizări, înregistrate şi acceptate pentru aplicare, în perioada 1963—1972, ce sînt cuprinse în tabela 1.

Tabela 1

	1963	1965	1967	1970	1971	1972
Propuneri înregistrate	403	344	333	224	302	252
Invenţii, inovaţii, raţionalizări aplicate	179	182	151	87	98	102

Prin intrarea în vigoare, în anul 1968, a decretului 884/67 şi HCM 2250/67, cu privire la invenţiile, inovaţiile şi raţionalizările în Republica Socialistă România, se foloseşte tot mai mult inteligenţa proprie în uzina noastră, activitatea inventivă şi inovatoare desfăşurîndu-se în pas cu revoluţia tehnică mondială. Pe această linie s-a trecut la abordarea problemelor privind dotarea uzinei prin autoutilare.

Este de remarcat faptul că rezultatele cuceririi a ceea ce este nou în tehnică, rezultatele contribuţiei inteligenţei la aceasta sînt evidenţiate prin cele 23 invenţii aplicate în uzină din care, unele se aplică în mod curent la produsele U.M.E.B., iar altele constituie obiectul unor mijloace fixe, respectiv a unor dotări prin autoutilare, cu o eficienţă tehnico-economică substanţială. În această privinţă pot fi date ca exemplu invenţiile ce se referă la „Modificările constructive ale grupurilor de medie frecvenţă de la 2 000 la 10 000 Hz" — autori Ing. Bunea Victor şi colectivul.

De menţionat este faptul că acestea au fost distinse cu „Medalia de aur" la „Salonul Internaţional de invenţii" de la Viena din anul 1969 şi s-au obţinut brevete din Anglia, Belgia, Elveţia, Franţa, S.U.A.

Invenţiile brevet nr. 49.553 — autor : ing. Bunea Victor şi brevet nr.49 380 — autori : dr. ing. Răduţ Constantin şi ing. Creţa Vasile, care se referă la „Procedee pentru reducerea pierderilor în polii maşinilor electrice", aplicate în mod curent la grupurile electrogene, au determinat creşterea puterii acestora de la 100 kVA la 125 kVA şi de la 30 kVA la 38 kVA, în vechile gabarite, ceea ce a constituit o îmbunătăţire a parametrilor produselor respective şi o economie substanţială de materiale şi manoperă ; fabricatele de acest gen au o serioasă pondere printre cele ce se execută la U.M.E.B., satisfăcînd atît cerinţele interne, cît şi cele de export.

Invenţia „Motor electric cu frînă inclusă" — autor : ing. Niculescu Eugen a fost, de asemenea, brevetată în mai multe state printre care : Austria, Belgia, Franţa, Japonia, S.U.A.

Invenţia „Bobinaj unic cu comutarea numărului de poli pentru motoare asincrone cu 2 viteze, în raportul 1 : 4" — autor : dr. ing. Răduţi Constantin — brevet R.S.R. 54.442.

O altă invenţie care contribuie prin aplicarea ei la procesul de autoutilare şi dotarea cu maşini-unelte necesare unui anumit ciclu din procesul tehnologic, ce se aplică în secţia respectivă, este invenţia brevet nr. 48.192 ce se referă la „Procedee şi dispozitive pentru îndoit, format şi fasonat bobine pentru rotorii maşinilor mici de curent continuu" — autor : ing. Nistor Alexandru — aplicată în cadrul fabricaţiei de demaroare, aducînd o sporire importantă a productivităţii muncii.

În aceeaşi situaţie se află invenţiile „Dispozitiv de strîns poli la maşinile electrice mici de curent continuu" şi „Dispozitiv pentru calibrarea şi sertizarea lamelelor colectoarelor maşinilor mici de curent continuu" — autor : ing. Nistor Alexandru. Prin aplicarea celor două invenţii se obţin o serie de economii prin reducerea manoperei la operaţiile aferente ciclului de fabricaţie, deci, o mărire a productivităţii muncii în sectorul de producţie, respectiv, atelierul de demarori.

Este meritoriu aportul adus de muncitorii, tehnicienii, inginerii şi de ceilalţi salariaţi din colectivul uzinei pe linie de invenţii, inovaţii şi raţionalizări, contribuţia acestora la creşterea eficienţei uzinei şi a avuţiei naţionale.

Astfel, inovaţia „Dispozitiv pneumatic pentru presarea pinionului în paharul bendixului la demarorii D2 şi D3" — autor Voicu Vasile — ajustor monteur, a contribuit la asigurarea unei calităţi ridicate a produselor respective. Se remarcă faptul că tov. Voicu Vasile, avînd o calificare superioară, este autor a peste 30 inovaţii şi raţionalizări şi se preocupă de îmbunătăţirea constructivă şi tehnologică a demaroarelor încă din anul 1959.

Inovaţia „Modificarea constructivă la rezistenţe de pornire şi reglaj tip T.R.1., 1.8. şi 1.9" — autorii : ismană Ion — maistru şi Panaitescu Nicolae — tehnician principal — şef atelier, a contribuit la o construcţie mai simplă, reducînd cele 3 tipodimensiuni de rezistenţe la una singură şi generînd economii importante.

Inovaţia „Dispozitiv de găurit universal" — autori : ing. Zaharia Vasile, ing. Ghinăraru Marin şi tehnician proiectant Anghel Mihai, asigură bune rezultate în procesul de producţie prin descongestionarea unor maşini-unelte.

Inovaţia „Modificări constructive la cutiile de acumulatoare pentru grupurile de 30 kVA, 38 kVA, 350 KD şi 500 KD" — executată de Călinescu Ion, monteur, a adus o simplificare în construcţie, aducînd, de asemenea, mari economii postcalculate.

— „Maşină de ştanţat, pas cu pas, ancoşe la tole rotor" — autori : ing. Ciolac Cornel şi ing. Jiroveanu Dan este o altă inovaţie care a contribuit la eliminarea importului de asemenea utilaje.

— „Modificarea constructivă a comutatorului de curent 350 A, 500 A" — autor : Dumitrescu Alexandru — tehnician este inovaţia care a generat, pe lîngă economii postcalculate substanţiale şi îmbunătăţiri constructive esenţiale, contribuind la mărirea fabricaţiei produsului.

Trebuie menţionat faptul că, s-a acordat şi se acordă în continuare o atenţie deosebită pentru depistarea a tot ceea ce este nou în proiectare, tehnologie, construcţie a soluţiilor tehnice cu caracter de originalitate pentru a fi înaintate ca propuneri de invenţii la Oficiul de Stat pentru Invenţii şi Mărci, urmînd a fi protejate prin brevete.

În scopul atragerii unui număr cît mai mare de salariaţi pentru o colaborare activă şi eficientă în mişcarea de invenţii, inovaţii şi raţionalizări se pune la dispoziţia acestora, prin

biblioteca tehnică, cele mai recente materiale documentare din țară și străinătate.

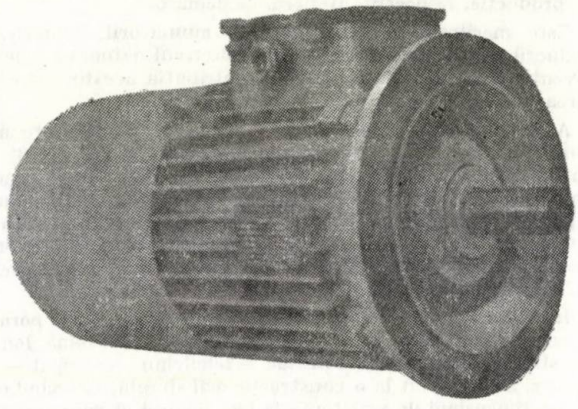
Rezultatele obținute de-a lungul anilor confirmă că mișcarea de invenții, inovații și raționalizări a devenit în Uzina de mașini electrice-București o activitate de masă, dovedindu-și eficiența prin problemele tehnice rezolvate. Un indiciu în această privință îl constituie și cîștigarea, timp de 5 ani consecutiv, a unuia din locurile fruntașe, în cadrul concursului de invenții, inovații și raționalizări, organizat anual de către ministerul de resort.

Florian George

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE

Realizări în domeniul motoarelor asincrone trifazate cu rotor în scurtcircuit și frînă electromecanică, destinate acționării instalațiilor de ridicat și transportat tip ASFM gabaritele 80—160

Motoarele echipate cu frînă capătă o utilizare tot mai mare în cadrul instalațiilor de ridicat și transportat, înlocuind soluțiile folosite în majoritatea cazurilor, care prevăd separarea motorului electric de frînă, de regulă mecanică, dar uneori și electromecanică. Reunirea motorului cu sistemul de frînare are avantaje legate de construcția ansamblului de ridicat și transportat, permițînd soluții ce conferă o siguranță sporită și adesea o simplificare a instalației. Această reunire a motorului cu frîna este asigurată de către motoarele asincrone trifazate cu rotor în scurtcircuit și frînă electromecanică, fabricate de Uzina de mașini electrice-București. Gama de fabricație a acestor motoare cuprinde 37 tipodimensiuni, grupate în 6 gabarite (80—160).



Formele constructive, conform STAS 3998—53, în care se execută motoarele sînt: S_3, F_3, V_1, VF_5.

Motoarele cu frînă derivă din seria normală de motoare tip ASM, în sensul că, acestea din urmă sînt echipate cu o frînă electromecanică a cărei construcție permite frînarea rotorului la întreruperea alimentării într-un timp foarte scurt.

Motoarele sînt închise, autoventilate, cu protecție IP 54 pentru ansamblu motor frînă și IP 20 pentru capota ventilatorului. Carcasa, scuturile sînt executate din fontă; motoarele sînt prevăzute cu un singur capăt de arbore cilindric. Ambele lagăre sînt pe rulmenți cu bile. Bobinajul statorului este în clasă de izolație B cu conductori rotunzi din cupru izolați cu email tereftalic rezistent la șoc; colivia rotorului este turnată din aluminiu.

Frîna folosește ca material de fricțiune, discuri sinterizate pe oțel. Presarea discurilor la frînare se asigură cu mai multe resoarte; frîna este cu alimentare cu curent continuu, iar sursa de alimentare cu tensiune redresată face parte integrantă din ansamblul motor-frînă.

Datele nominale ale motoarelor cu frînă executate la UMEB

— Regimul nominal de funcționare a motoarelor este S4 definit prin 120 conectări/oră, durata activă relativă DA= 40% și factor de inerție FI = 3.

— Cuplul de pornire raportat la cuplul nominal este 2,5 pentru motoare cu 1500 rot/min și 2 pentru motoare cu 1 000 și 750 rot/min.

— Curentul de pornire raportat la curentul nominal este ...6

— Cuplul de frînare este 2 × cuplul nominal

— Timpul maxim de răspuns la frînare este:
0,1 s. pentru motoarele din gabaritele 80—132 și
0,2 s. pentru motoarele din gabaritul 160.

Frîna asigură o bună funcționare la coborîrea tensiunii de alimentare a motorului pînă la 0,8 din tensiunea nominală. Construcția frînei permite reglarea comodă a cuplului de frînare. Calitatea superioară a materialelor utilizate constituie o garanție în exploatare. Gama largă de mărimi, formele constructive și parametrii electrici superiori la care se execută aceste motoare, răspund unor domenii întinse ale nevoilor practicii.

Ing. *Gh. Zamfir*

Motoare de tracțiune pentru locomotive miniere

În profilul de fabricație al Uzinei de mașini electrice-București intră și motoarele de tracțiune pentru locomotivele miniere. În anii precedenți s-au fabricat următoarele tipuri de astfel de motoare:

— motoare tip SSTA 4,5/72 și tip SSTA 8,5/110 în construcție asigurată contra exploziilor, realizată prin capsulare rezistentă la presiune, destinate acționării locomotivelor miniere de 4 t și respectiv 8 t cu acumulatoare;

— motoare tip SSTN 20,6/250 și SSTN 20/550 destinate acționării locomotivelor miniere de 7 t cu troleu.

Pe linia îmbunătățirii continue a performanțelor locomotivelor a apărut necesitatea reproiectării produselor amintite și a scoaterii din fabricație a altora. Totodată, s-a pus problema lărgirii gamei de motoare de acest tip prin reproiectare. Astfel, în locul motoarelor SSTA 4,5/72, SSTN 20, 6, 250 și SSTN 20/550 s-au asimilat prin reproiectare noile produse MTA 5,2; LMT — 7/250, LMT—7/550. De asemenea, s-a lărgit gama de produse prin proiectarea motorului de tracțiune tip LMT—14/550, destinat locomotivelor miniere de 14 t. Noile motoare au puteri mai mari, comparativ cu vechile tipuri, construcții și performanțe mult îmbunătățite și simplificate.

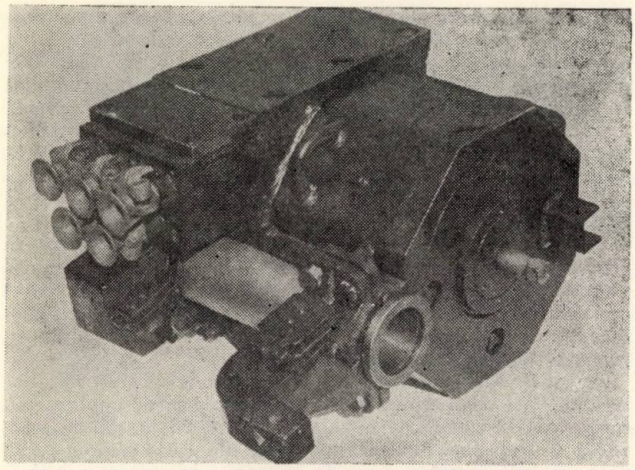


Fig. 1. Motor electric de curent continuu tip MTA5,2 în construcţia antigrizutoasă cu carcasă antideflagrantă, pentru noua locomotivă minieră de 4 t cu acumulatoare.

Astfel, motoarele tip LMT—7 au puterea mărită la 25 kW faţă de 20 kW a vechiului tip SSTN. Tipurile LMT—7 şi LMT—14 sînt prevăzute a funcţiona atît ca motoare cu răcire naturală (IP 44) cît şi ca motoare cu ventilaţie independentă (IP 23); în acest din urmă caz motoarele sînt prevăzute cu o gură de absorbţie prin care se suflă aer, în maşină, cu un debit minim de 3 m^3/min.

Prin acest procedeu se obţine o mărire a puterii cu cîţiva kW. Totodată, noile tipuri LMT—7 şi LMT—14 au o construcţie simplificată a sistemului de ungere, adică a lagărului, care acum are numai rolul de suport al apărătorii roţilor dinţate nemaifiind nevoie de rezervorul de ulei; ungerea este asigurată printr-o instalaţie centralizată pe locomotivă. Noile tipuri LMT—7 şi LMT—14 au şi o construcţie unificată, avînd piesele comune, cu excepţia bobinajului, carcasei şi axului. Construcţia motoarelor este mult simplificată, permiţînd montarea şi demontarea mult mai uşoară faţă de vechiul tip.

În tabela alăturată se dau cîteva date comparative între vechile şi noile tipuri de motoare de tracţiune minieră.

Tabela 1

Tipul motorului	Putere nominală uniorară kW	Tensiunea nominală V	Viteza de rotaţie în regim uniorar, rot/min	Curentul uniorar, A,	Clasa de izolaţie	Protecţia	Masa, kg
SSTA 4,5—72	4,5	72	620	84	B	P—33	175
MTA/5 (fig. 1)	5,2	72	510	95	B	IP—44	240
SSTN 20,6/250	20,6	260	620	95	A	P—33	420
LMT—7/250	25	250	630	116	B	IP—44	640
SSTN 20/550	29,5	550	670	41	A	P—33	420
LMT—7/550	25	550	630	50	B	IP—44	640
LM 14/550	41	550	720	79	B	IP 23	820
LM 14/550	38	550	740	85	B	IP 44	820

Ing. *Cornel Barbu*

MANIFESTĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI TEHNICE

Prima sesiune de comunicări ICENERG, 18—20 octombrie 1973

Ministerul Energiei Electrice-Institutul de Cercetări Electroenergetice şi pentru Termoficare în colaborare cu Consiliul Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor organizează, la Bucureşti, în luna octombrie 1973, o sesiune de comunicări tehnico-ştiinţifice.

Prin organizarea sesiunii de comunicări se urmăreşte să se supună realizările institutului unei analize critice din partea beneficiarilor şi a colaboratorilor, să se facă cunoscute realizările într-o sferă mai cuprinzătoare şi să se supună discuţiilor lărgite unele direcţii de cercetare.

În cadrul sesiunii se vor prezenta circa 165 comunicări din domeniile: producerea, transportul, distribuţia şi utilizarea energiei electrice, sisteme şi reţele electrice, tehnica tensiunilor înalte, automatică, informatică şi electronică, centrale termoelectrice, termoficare, hidrotehnică industrială în centrale termoelectrice, chimie în energetică, centrale nuclearo-electrice, tehnologii şi materiale specifice în energetică, economie în energetică, psihologia muncii.

Lucrările sesiunii ICENERG se vor desfăşura pe specialităţi, în următoarele secţii:

Secţia E — Electroenergetică şi electrotehnică;
Secţia T — Termoenergetică şi termotehnică;
Secţia A — Automatică, informatică şi electronică;
Secţia TM — Tehnologii şi materiale în energetică.

De asemenea, în cadrul sesiunii vor fi organizate mese rotunde cu următoarele teme:

— Creşterea siguranţei în funcţionare prin perfecţionarea metodelor de încercări;

— Creşterea randamentului centralelor electrice.

Zilele tehnicii R. D. Germane în Republica Socialistă România

În cadrul relaţiilor economice şi tehnico-ştiinţifice dintre ţara noastră şi Republica Democrată Germană, la 4 iunie 1973 s-au deschis la Bucureşti „Zilele tehnicii R.D. Germane în Republica Socialistă România". importantă manifestare organizată de Camera de Comerţ a R.D.G. Constituind un nou prilej pe linia lărgirii schimbului de experienţă între specialiştii din cele două ţări, pentru adîncirea şi perfecţionarea colaborării economice bilaterale, această manifestare ne-a oferit în perioada 4—7 iunie a.c. un bogat program de conferinţe tehnico-ştiinţifice şi economice care ne facili-

tează o imagine clară atît asupra nivelului avansat al tehnicii în R. D. Germană, cît și asupra politicii P.S.U. de dezvoltare a științei și tehnicii.

Țelul principal, al evoluției impetuoase a științei și tehnicii în R. D. Germană, și al celorlalte state socialiste, de altfel, este ridicarea continuă a nivelului de trai al oamenilor muncii, prin asigurarea unei puternice baze tehnico-materiale.

În vederea asigurării dezvoltării armonioase a economiei se pune un accent deosebit pe dezvoltarea cu precădere a fabricației elementelor de construcție și de subansamble standardizate, cum sînt motoare, angrenaje, elemente hidraulice, armături, aparate de comandă și reglaj etc.

În cadrul domeniilor tradiționale ale activității de cercetare și concepție un loc de frunte îl ocupă industria constructoare de mașini-unelte, cea a mașinilor textile, industria producătoare de instalații chimice, precum și ramura construcțiilor de mașini pentru transport.

Prima conferință, prezentată cu prilejul „Zilelor tehnicii Republicii Democrate Germane în R. S. România" se referă la „Posibilitățile industriei chimice nepoluante".

Este binecunoscut faptul că în zilele noastre, crește tot mai mult pericolul poluării mediului înconjurător cu diferite emisii gazoase în zonele industriale emisii care de cele mai multe ori depășesc limitele admise pentru o existență umană nestînjenită. Faptul impune cu acuitate adoptarea unor măsuri rapide de limitare a gradului de nocivitate în zonele respective, măsuri la care s-au gîndit specialiștii uzinelor de instalații chimice CAN Leipzig, propunîndu-și fabricarea unor asemenea instalații nepoluante.

Avîndu-se în vedere protejarea mediului înconjurător, prin construcția instalațiilor chimice de către această firmă se realizează micșorarea la maximum și chiar înlăturarea totală a elementelor ce ar periclita puritatea atmosferei. Referentul, doctor Martin Quarg, aduce importante precizări privind utilizarea condițiilor, deja existente, în cercetarea acestor instalații, precum și asupra experienței comune, acumulate de fabricant și proiectant, pentru crearea instalațiilor chimice nepoluante.

Un interes deosebit în rîndul specialiștilor a fost produs de referatul cu tema „Noul strung cu comandă numerică DF 315 NC-S pentru prelucrarea automată în mandrină a pieselor scurte de serie mică și mijlocie", prezentat de dipl. ing. Lothar, conducătorul principal al secției de încercări VEB Werkzeugmaschinefabrik Magdeburg.

Descrierea amănunțită a construcției și prezentarea modului de lucru al mașinii DF 315 NC-S, precum și a dispozitivului de poziționare, prin curent continuu, a circuitului de avans, scot în evidență această mașină complexă. Printre problemele ridicate de specialiști s-au remarcat cele privind rezultatele cercetărilor asupra exactității poziției de mers înainte și a dinamicii dispozitivului de poziționare, arătîndu-se efectele obținute, și programele de prelucrare automată a pieselor. De asemenea, s-au expus date în legătură cu randamentul și fiabilitatea.

Comanda numerică a mașinii DF315 NC-S este de tipul BNC-3 prin impulsuri. Toate informațiile sînt convertite și prelucrate în sistem zecimal-binar. La cerere se pot utiliza și codurile 8 B și ISA. Programarea acestei mașini se poate face atît normal, cît și automat prin Autotech/Symap DR1.

Conferința a expus clar toate fazele programării, ale poziționării sculei, ale efectuării operațiilor etc., scoțînd în evidență o serie de avantaje ca : scăderea timpilor de lucru prin deplasările optimizate în pozițiile de lucru, creșterea preciziei de prelucrare a piesei prin poziționarea exactă a ei, mărirea siguranței funcționărilor, adică, a timpilor medii de lucru fără erori, datorită utilizării sistemului de măsură a deplasărilor și comenzii BNC-3 în tehnica semiconductorilor cu siliciu ; reducerea costului prelucrărilor, prin micșorarea perioadei de revenire din poziția de cuplare și în final micșorarea timpului de bază cu 30 % prin existența unor trepte fine de avans.

Pentru a ne încunoștiința despre procedeele de topire a metalelor, în timpul „Zilelor tehnicii R. D. Germane în R.S. România", s-a mai prezentat și lucrarea : „Tehnologia modernă de topire în cuptoare cu inducție la frecvența de rețea. Seria de cuptoare NFTO și NFRO".

Topirea metalelor după principiul inducției a cunoscut în ultimii ani o dezvoltare explozivă. Cuptoarele cu inducție s-au dovedit excepționale și s-au evidențiat printr-o înaltă rentabilitate. Față de alte procedee de încălzire, topirea prin inducție prezintă avantajul de a dezvolta direct căldura în produsul încălzit sau topit.

Modul de funcționare se bazează pe principiul transformatorului. Cele două tipuri de cuptoare existente : cuptorul cu creuzet cu frecvență de rețea și cuptorul cu jgheab cu frecvență de rețea se folosesc în funcție de condițiile de lucru date, ambele avînd o serie de avantaje printre care o productivitate ridicată a muncii, condiții de lucru mai ușoare, în care mediul nu este poluat. Instalațiile nu necesită o supraveghere continuă în timpul funcționării. Întrucît după șarjarea și pornirea cuptorului urmează controlul aparatelor acestuia la intervale mari de timp, pentru eventuala reglare la parametrii ceruți, echipa de servire a cuptorului poate executa și alte munci pe toată durata topirii.

Un alt domeniu în care s-au furnizat date interesante este cel cuprins în referatul „Instalații și echipamente LEW de încălzire electrică industrială".

Utilizarea pe scară tot mai largă a electricității în industrie, deși foarte costisitoare, se impune cu pregnanță prin avantajele deosebite pe care le oferă. Foarte demonstrativă, în această privință, este topirea în vid înaintat, procedeu ce se poate realiza numai pe cale electrică și care înlătură în totalitate influența dăunătoare a gazelor de ardere sau a aerului asupra masei topite, precum și a mediului înconjurător.

Instalațiile de topire în vid înaintat livrează materie de cea mai înaltă puritate, așa cum solicită azi energia atomică, construcțiile moderne de avioane și rachete etc.

În expunerea pe această temă, menționată mai sus, s-au prezentat seriile de cuptoare ce funcționează cu asemenea instalații, printre care EMO 6 cu o capacitate de topire de 60 kW, la un vid de $10^{-2}...5.10^{-5}$ torri ; tipul EMO 250, construcție perfecționată a tipului EMO 200, apoi EMO 1200 pentru topirea blocurilor cu secțiune mare, aplicat cu succes la topirea oțelului și care necesită pentru capacitatea sa de 1200 kW, doar o sursă de electroni.

Firma LEW, livrează beneficiarilor, pe lîngă cuptoare cu trecere continuă și cuptoare principale cu camere, cu comutator sau cu hotă, fiind echipate cu cele mai moderne instalații, care conduc la avantajul că, încălzirea electrică directă se face omogen, rapid, nu produce oxidări și nici formare de granule mari. De asemenea, acest procedeu are un randament ridicat, iar instalațiile respective, patentate de firmă, se pot amplasa pe spații mici.

Pe lîngă cele expuse mai sus în perioada 4—7 iunie a.c. specialiștii romîni au mai făcut cunoștință și cu alte domenii ale tehnicii din Republica Democrată Germană, care au oferit o privire de ansamblu asupra evoluției științei și tehnicii în această țară, fapt ce conduce la lărgirea posibilităților de colaborare a R.D.G. cu țara noastră.

Greta Andrei

Materiale electroceramice și izolatoare cu caracteristici tehnice deosebite prezentate, la tîrgul de primăvară de la Leipzig, de WEB Keramische Werke Hermsdorf

Dintre produsele prezentate menționăm materiale izolatoare pentru industria electrotehnică, electronică și chimico-tehnică și importante accesorii de construcție și ansamble pentru ramurile specificate cît și pentru alte sectoare.

Pentru ramura energeticii au fost prezentate materiale izolante și izolatoare armate pînă la cele mai mari dimensiuni, materiale speciale cu rezistențe mecanice crescute și cu bune proprietăți termice cît și instalațiile tehnologice moderne.

Ca o premieră a fost prezentată instalația telecomandată pentru producerea pieselor mari ; este vorba de confecționarea izolatoarelor mari pentru înaltă tensiune, care au ajuns în prezent pînă la 1200 kV. Instalația exterioară de încercare

concepută pentru curent alternativ de înaltă tensiune ajungînd pînă la 2,25 MV și pentru tensiuni de șoc pînă la 7,2 MV servește nu numai pentru încercarea produselor de fabricare curentă dar și în scopurile cercetării fundamentale.

Vom prezenta în continuare cîteva produse care au suscitat un interes deosebit. Din gama tehnicii tensiunilor înalte citățm paratrăsnetul cu rezistență variabilă. Cu gama de paratrăsnete de rezistență variabilă se poate asigura protecția instalațiilor de tensiune alternativă cu o tensiune de izolare de referință, mergînd pînă la 420 kV. În plus combinatul fabrică și paratrăsnete derivatoare pentru rețele de tensiune continuă pînă la 3 kV. La conceperea acestor tipuri s-a avut în vedere influența climatică, influență mărită și prin creșterea poluării atmosferice de către industrie, precum și prin obținerea lor la prețuri scăzute.

Un alt element ce prezintă interes este izolatorul din porțelan. Izolatoarele mari de porțelan dur sînt folosite la aparate și instalații de înaltă tensiune, printre care pălării și traverse pentru întreruptoarele cu ulei și transformatoarele de toate puterile și tensiunile; pălării pentru cutiile de extremitate pînă la 380 kW, pălării pentru transformatoarele de măsură și de tensiune izolatoare cu tije și izolatoare de cameră pentru întrerupere cu expansiune, disjunctoare cu gaz comprimat cu jet liber, disjunctoare cu autoîntrerupere în ulei, disjunctoare cu compensare de presiune, disjunctoare pneumatice rapide; izolatoare-suport pentru tot felul de secțiuni; izolatoare și pălării pentru paratrăsnete derivatoare și pentru alte utilizări speciale.

Aceste mari corpuri izolatoare rezistă la intemperii, chiar și în condiții climatice extreme, posedînd o mare rezistență la solicitări mecanice, la disrupere și la șocuri. Se fabrică dintr-o singură piesă cu înălțimea pînă la 3500 mm și cu un diametru ce poate atinge cifra de 1500 mm. Corpuri izolatoare de dimensiuni mai mari se pot obține din combinarea mai multor piese ca:

Izolatorul suport exterior FS 10—30/700. Acest izolator spre deosebire de tipul clasic, nu cere nici un fel de întreținere datorită armăturilor modificate și întărite la foc cît și datorită masticajului cu ciment Portland. Ele se pot utiliza pentru 10, 20, 30 kW și pentru o forță de întindere a cărei limită nominală de flexiune este de 700 kgf;

Traverse de perete pentru 10 și 30 de kV. Aceste traverse sînt însoțite de conductoare rotunde pentru intensitatea de la 200 la 3150 amperi sau ca traversă deschisă pentru trecerea barelor dreptunghiulare de $1\times40\times5$ pînă la $3\times120\times10$.

Caracteristicile principale sînt: o parte reglabilă filetată, din material plastic, care admite încorporarea într-un perete cu o grosime cuprinsă între 5 și 65 mm. Se elimină astfel (datorită faptului că este reglabilă) folosirea rondelelor intermediare; o altă caracteristică este aceea că datorită rezistenței lor crescute la disrupere ele pot fi încorporate chiar și în pereții metalici ce au contact cu pămîntul; proprietățile electrice ale traverselor de 30 kV pot fi ameliorate dacă se introduce un izolator din două bucăți, prevăzut cu carcasă conductoare.

Un nou domeniu de fabricare îl constituie componentele electronice. Din gama lor menționăm produsele din ferită și anume Maniperm-860 K. Acest nou material este o materie feromagnetică pe bază de oxizi. Ea își găsește aplicabilitate peste tot unde se întîlnesc cîmpuri mari demagnetizante sau unde se construiesc aparate ce folosesc forțele de respingere produse de poli magnetici de același semn și unde este nevoie de o mare intensitate a cîmpului coercitiv al materialelor feromagnetice folosite.

Pentru construcția motoarelor de curent continuu se fabrică segmente din acest material. Aceste segmente sînt montate pe un inel ce constituie chiar statorul motorului.

Vom aminti în continuare realizările combinatului KWH în domeniul chimiei: pompă centrifugă pentru acid, din porțelan. Această nouă serie de pompe centrifuge a fost realizată cu ajutorul materialului ceramic KER 110. Este vorba de o pompă orizontală monoetajată cu corp spiral și de construcție compactă. Tubulatura de aspirație și de refulare este dispusă central în raport cu axul longitudinal. Corpul spiral și capacul pompei sînt protejate, împotriva deteriorărilor mecance, de un blindaj de fontă. Toate piesele ce intră în contact cu lichidul transportat sînt fabricate din materialul KER 110.

Acest material este rezistent la coroziune ceea ce face posibilă folosirea pompei indiferent de natura agentului folosit la spălat cît și de temperatura și concentrația lui. Glazura porțelanului împiedică ancrasările; totodată porțelanul dur este absolut etanș la lichide și la gaz ceea ce face să nu altereze mirosul sau gustul mediului în care lucrează, prezentînd totodată o rezistență mare la abraziune. Pompa centrifugă este fabricată în trei versiuni.

Aceasta ar fi o scurtă trecere în revistă a cîtorva din principalele produse ale combinatului KWH care ne-au atras atenția în mod deosebit, la Tîrgul internațional de la Leipzig.

D.V.

Noile mașini și utilaje electrotehnice prezentate la Tîrg de Combinatul LEW

Printre noile exponate prezentate în primăvara aceasta la Tîrgul de la Leipzig, s-au remarcat produsele firmei LEW „Locomotivbau — Elektrotehnische Werke „Hans Beimler Hennigsdorf — cu specificul de mașini și utilaje electrotehnice pentru vehicule și industrie. Dintre acestea menționăm unele noutăți din domeniul cuptoarelor de topire prin inducție, de frecvență mijlocie IMSK 500—250/2,4, care pot face față, în privința calității, cerințelor sectorului de prelucrare a fierului, oțelului și a altor metale, prin care se ajunge la o economie de materiale de circa 20% față de operațiile de pînă acum. Cuptoarele lucrează automat printr-un compresor de fază cu o productivitate constantă selecționată.

Întreprinderea Inducal Göllingen, producătoarea acestor instalații a prezentat, de asemenea, un grup de modele de instalații de încălzire pentru metalurgie, menite a înlocui mijloacele vechi de încălzire. Aceste instalații prezintă avantaje deosebite prin reducerea timpului operațional, creșterea calității și randamentului producției.

În combinat se mai produc, printre altele, cuptoare electrice pentru suduri de rezistență cu bandă transportoare FFGS 45, cu productivitate înaltă, cu o putere nominală de 45 kW.

Cuptorul NFRO — A 1 16.000/2040 cu inducție și frecvența rețelei pentru topirea aluminiului și aliajelor de aluminiu are următoarele date tehnice care permit o apreciere justă a calităților sale:

încărcare utilă, 16000 kg;
capacitate, 25000 kg;
numărul inductoarelor, 6;
capacitatea de conectare, 3200 kVA;
capacitatea nominală, 2040 kW;
materialul de prelucrat, Al și aliaje de Al;
capacitatea de topire circa, 4,8 t/h la 700°C;
temperatura de topire, 700—800°C.

De o deosebită atenție s-au bucurat trenurile electrice livrate în special pentru Egipt, care pot circula cu viteza de 100 km/h. Motoarele, fiind astfel construite încît să poată lucra în acel climat, rezistă la temperatura de 50°C maximum și în condiții de praf și nisip. Ele pot transporta circa 1000 persoane ceea ce reprezintă un număr de 12 persoane/m^2. Sînt expuse, de asemenea, locomotivele electrice E-11/E-42 ce corespund celor mai noi cerințe. În această categorie sînt prezentate și seriile de locomotive BR-211/242. Cele din categoria BR-211 pentru trenuri rapide cu viteze de 120 km/h pentru un tonaj de 850 t și cu 100 km/h pentru un tonaj de 960t, iar BR-242 pentru trenuri de marfă viteza de 80 km/h pentru tonaje între 1000 t și 1900 tone.

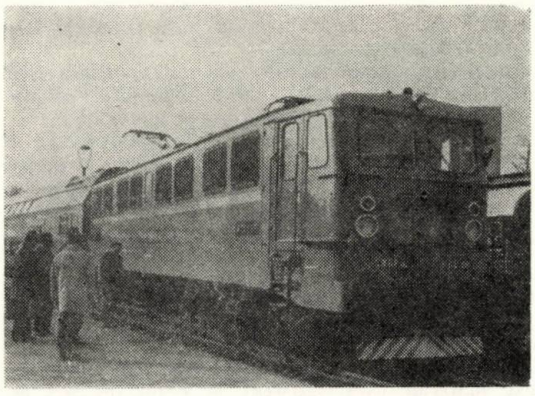
În acest sector sînt expuse și baterii electrice pentru mașinile de manevră în interiorul stațiilor de cale ferată ale întreprinderilor, depouri, etc., cu rezistență deosebită în timp și pentru un parcurs mai îndelungat.

În cadrul sectorului de instalații electrice, LEW prezintă unele sisteme automatizate produse ale întreprinderilor galvanotehnice din Leipzig, destinate deci atelierelor

de galvanizare. Instalaţiile electrice ţin seama de cerinţele standard ale acestui domeniu în care s-au construit mai multe sisteme. Sistemul EAS permite tratarea automată a suprafeţelor şi este executat la rîndul lui în două tipuri: tipul VAS pentru transportul automat combinat şi tipul TAS pentru transportul separat al pieselor.

Sistemul automat EAS se poate adapta la tehnologie oricărei protecţii prin varierea procedeelor de construcţie.

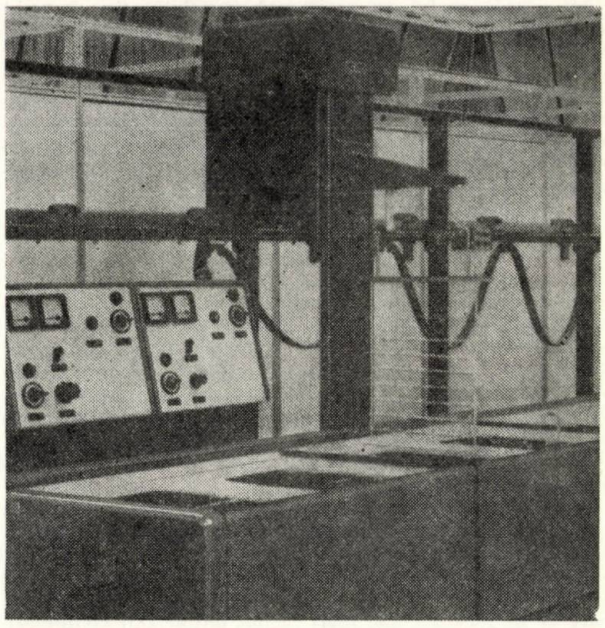
Pentru galvanotehnica de proporţii mici se foloseşte tipul „Pikomat". Operaţia se execută în timp scurt. Sistemul de instalaţie infraroşu garantează o funcţionare perfectă, prelucrează piese mari cu forme geometrice variate, într-un timp relativ scurt.



Un alt sector al întreprinderilor LEW Leipzig este acela al materialelor electroizolante şi al condensatoarelor. Printre aceste materiale menţionăm:

— pînza de sticlă dură caşerată cu cupru-levansit Cu 0,7 cu răşină epoxidică, cu proprietăţi dielectrice şi calităţi mecanice ridicate;

— hîrtia dură fenocelulozică caşerată cu Ku-CuD, care se pregăteşte la temperatura camerei;



— hîrtia dură fenocelulozică (R) 2062.8, cu putere mare de izolare, cu calităţi dielectrice. Şi în privinţa condensatoarelor a fost expusă o gamă largă.

D.V.

TEZE DE DOCTORAT

VASILE TRUSCĂ:

Asupra proceselor de stingere a arcului electric în aparatele de comutaţie de joasă tensiune

Conducător ştiinţific — Prof. dr. ing. Gh. Hortopan

În teză se tratează problema stingerii arcului electric în aparatele de comutaţie de joasă tensiune.

În primul capitol al tezei este prezentat un studiu critic al stadiului actual în domeniul subiectului precum şi aspectele pe care autorul şi le-a propus să le rezolve.

În capitolul al doilea este prezentat un model matematic original, elaborat de autor în trei variante, care serveşte la precalcularea comportării arcului electric în camera de stingere a contactoarelor de joasă tensiune de curent alternativ.

Capitolul 3, cuprinde cîteva din dispozitivele originale construite de autor şi în special aparatul pentru măsurarea puterii şi energiei arcului electric în procesul de deconectare, precum şi unele studii efectuate pe aparate cum ar fi: influenţa acoperirii metalice a plăcuţelor camerelor de stingere, asupra procesului de deconectare; influenţa numărului de plăcuţe, (efectul de electrod), asupra procesului de deconectare şi influenţa materialului contactului asupra procesului de stingere a arcului electric în aparatele de comutaţie de joasă tensiune.

În capitolul 4 este prezentată discuţia rezultatelor obţinute, iar în capitolul 5, concluziile care se desprind în urma calculelor şi experimentărilor efectuate, precizîndu-se în final că modelele matematice prezentate pot servi ca instrument de precalculare a camerelor de stingere prevăzute cu plăcuţe metalice de stingere şi că împreună cu rezultatele obţinute pe cale experimentală, pe baza principiului energiei şi puterii minime dezvoltate în arcul electric, cu ajutorul aparaturii construite, contribuie prin studii de optimizare la obţinerea de camere de stingere respectiv de aparate de comutaţie cu performanţe ridicate.

Teza mai conţine şi anexe de calcul, prezentate în capitolul 6, precum şi o anexă cuprinzînd un număr de 85 de figuri, oscilograme şi diagrame.

Susţinerea publică a tezei a avut loc pe data de 4 aprilie 1973, în cadrul Facultăţii de Electrotehnică a Institutului Politehnic-Bucureşti.

CONTENTS

DC 621.3(09)(498)

Răduţ, C. : **„U.M.E.B." products in the domestic and foreign market.**
Electrotehnica **21**, No 8, Aug. 1973 p. 293–297

The author presents the contribution of UMEB, the 25 years old „Bucureşti Electric Machines Plant", to the development of other branches of the national economy, whose outstanding supplier it is.

The second part of the paper is dedicated to the participation of the plant in the international exchange of electric engineering products and to its prospective development.

DC 621.333.001.5

Nicolescu, E. : **Optimizing of traction engines sizing based on the performances motor vehicles have to achieve.**
Electrotehnica **21**, No 8, Aug 1973 p. 297–303

The paper presents the results of an ample study conducted in the field of traction engines, study assuming a generalized form with the view of facilitating its application.

Stress is laid on urban traction but the study is applicable also to other categories of electric traction.

DC 621.313.12.02.001.5

Bunea, V. : **Optimizing problems regarding medium-frequency alternators.**
Electrotehnica **21**, No 8, Aug 1973 p. 303–309

The paper analyses the operation of Guy-type medium-frequency alternators in the light of the theory worked out by the author and presented in earlier works. The author studies the running of the alternator in the cases of cos $\Phi = 1$ power factor and capacitive power factor. One takes also account of the influence of the magnetic flux which is driven back towards the periphery of the lamination.

DC 621.313.33.025.3

Constantinescu, V., Cănescu, I. and *Crăciun, L.*: **Problems regarding the transitory regimes of three-phase asynchronous machines.**
Electrotehnica **21**, No 8, Aug 1973, p. 310–315

The paper describes the mathematical model of a short-circuit asynchronous motor and its modelling by means of a digital computer. The theoretical results compared with a series of experimental results shaw very good concordance. One observes that in the case of re-coupling or inverse coupling immediately after a disconnection, the currents are very strong; one has therefore to take account of these regimes in choosing the connection equipment.

DC 621.313.333.001.13

Răduţ, C. : **Problems arising in designing induction motors with commutable poles.**
Electrotehnica **21**, No 8, Aug 1973 p. 316–320

The paper presents some specific problems arising in designing induction motors with commutable poles : choice of the coefficients of leakage for the two speeds, dimensioning of the common rotor, choice of the number of stator and rotor slots fit for both rotations. Each problem is illustrated by examples and practical conclusions which point out the errors liable to appear if the designing particularities are not taken account of.

DC 621.313.8 : 621.791.75

Popescu, C. : **Improvement of rotary direct current for welding equipment.**
Electrotehnica **21**, No 8, Aug 1973, p. 320–324

The author describes the endeavour of the „Bucureşti Electric Machines Plant" (U.M.E.B.), an outstanding producer of welding generators to improve their techincal and economic performances. He presents the evolution of the welding generators turned out by U.M.E.B.

DC 658.516

Ghinăraru, M. : **Unification and standardization of technological processes achieved by systematization.**
Electrotehnica **21**, No 8, Aug. 1973, p. 324–330

Unification and standardization of the basic technological processes can be achieved making use of unitary concepts for parts of similar form but of defferent size. These unitary concepts bring about also an alteration in the designing of technological equipment ; through universalization and adjustability one achieves a reduction in the number of parts, using them by groups.

INVENTIONS, INNOVATIONS AND RATIONALIZATION AT U.M.E.B. ● PRODUCTS CURRENTLY TURNED OUT BY THE PLANT ● SCIENTIFIC AND TECHNICAL NEWS ● DOCTOR DEGREE'S THESES

SOMMAIRE

CD 621.3(09)(498)

Răduţ, C. : **U.M.E.B. — présence active dans notre pays et à l'étranger.**

Electrotehnica **21**, no. 8, août 1973, p. 293–297

On présente la contribution de l'Usine de Machines Electriques — Bucarest, la première fabrique roumaine de machines électriques, qui compte son 25-ème anniversaire, au développement des autres branches de l'économie nationale, son apport actif en tant que fournisseur de tous les domaines d'activité productive.

Dans la seconde partie de l'ouvrage, on présente la participation de cette usine à l'échange international de valeurs matérielles dans le domaine de l'électrotechnique ainsi que les perspectives de développement de la fabrique.

CD 621.333.001.5

Nicolescu, E. : **L'optimisation de l'établissement des dimensions des moteurs de traction, bassée sur les performances requises pour les véhicules.**

Electrotehnica **21**, no. 8, août 1973, p. 297–303

On présente les résultats d'une étude plus aprofondie, effectuée dans le domaine des moteurs destinés à la traction, étude présentée sous une forme généralisée afin de faciliter sa large application. L'étude se réfère en particulier à la traction urbaine, mais elle s'applique également aux autres genres de traction électrique.

DC 621.313.12.02.001.5

Bunea, V. : **Problèmes concernant l'optimisation du générateur de fréquence moyenne.**

Electrotehnica **21**, no. août 1973, p. 303–309

On analyse le fonctionnement, en charge, du générateur de fréquence moyenne, du type Guy, en considérant la théorie élaborée par l'auteur et publiée dans quelques ouvrages antérieurs. On étudie le fonctionnement, en charge, à un facteur de puissance cos $\Phi = 1$ et à un facteur de puissance capacitif. On tient compte aussi de l'influence du refoulement du flux magnétique vers la périphérie de la tôle.

CD 621.313.33.025.3

Constantinescu, V., Cănescu, S. et *Crăciun, M.* **Problèmes concernant les régimes transitoires des machines asynchrones triphasées.**

Electrotehnica **21**, no. 8 août 1973, p. 310–315

On présente le modèle mathématique du moteur asynchrone en court-circuit et son modélage sur un calculateur numérique. Les résultats théoriques sont comparés à une série de résultats expérimentaux, leur concordance étant très bonne. On remarque le fait que dans le cas du récouplage ou bien du couplage inverse immediatement après un découplage, les courants sont très forts ; on doit donc tenir compte de ces régimes lors du choix de l'appareillage de mise en circuit.

CD 621.313.333.001.13

Răduţ, C. : **Problèmes de l'élaboration des projets pour les moteurs à induction à pôles commutables.**

Electrotehnica **21**, no. 8, août 1973, p. 316–320

On présente quelques aspects spécifiques de l'élaboration des projets pour les moteurs à commutation de pôles : le choix des coefficients de dispersion pour les deux vitesses, l'établissement des dimensions du roteur comun, le choix du nombre des encoches pour le stateur et le roteur convenable pour les deux vitesses. On donne, pour chaque problème séparément, des exemples et l'on tire des conclusions pratiques.

CD 621.313.8 : 621.791.75

Popescu, C. : **Le perfectionnement des sources rotatives pour la soudure électrique à arc en courant continu.**

Electrotehnica **21**, no. 8, août 1973, p. 320–321

On spécifie les préoccupations de l'Usine de machines électriques — Bucarest, qui est un important producteur des sources de soudure, en vue d'améliorer continuellement les performances techniques et économiques de celles-ci. On présente l'évolution des générateurs de soudure dans le cadre de la fabrication de l'U.M.E.B.

CD 658.516

Ghinăraru, M. : **L'unification et la typisation des processus technologiques de base par leur systématisation.**

Electrotehnica **21**, no. 8, août 1973, p. 324–326

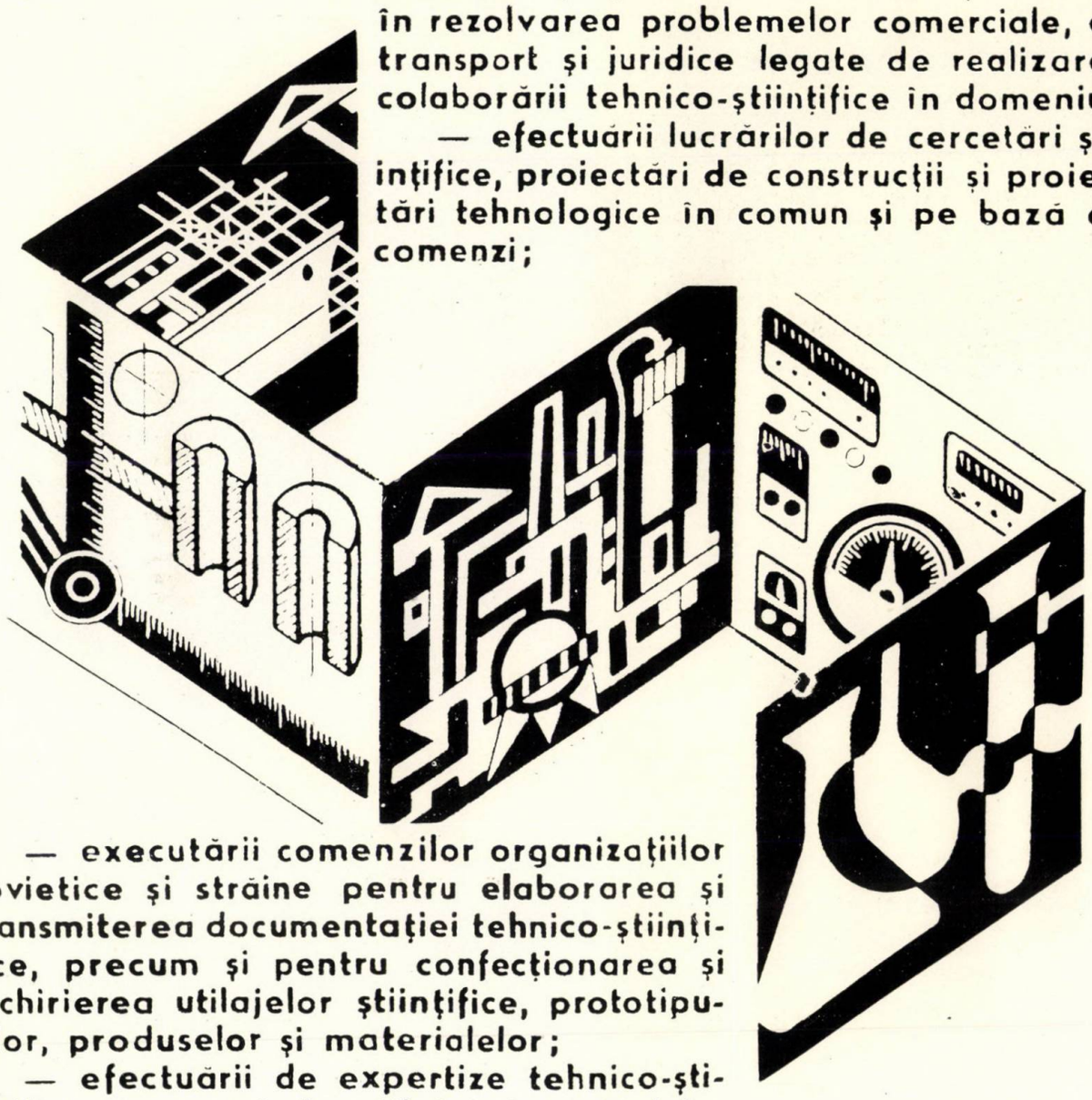
On poursuit l'unification et la typisation des processus technologiques fondamentaux en vue d'utiliser certaines conceptions unitaires pour des pièces qui se ressemblent comme forme, mais qui diffèrent comme dimensions. Par l'utilisation de ces conceptions, on modifie aussi l'élaboration des projets pour l'équipement technologique, dans le sens de le réduire et d'utiliser des groupes de pièces, rendues universelles et réglables.

L'ACTIVITÉ CONCERNANT LES INVENTIONS, LES INNOVATIONS ET LA RATIONALISATION A L'U.M.E.B. ● PRODUITS EXISTANTS DANS LA FABRICATION COURANTE DE L'USINE ● MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES. THÈSES DE DOCTORAT

ORGANIZAȚIA UNIONALĂ
„VNEȘTEHNIKA"
MOSCOVA, U.R.S.S.

acordă sprijin organizațiilor de cercetări științifice, proiectări de construcții și proiectări tehnologice, întreprinderilor industriale și firmelor sovietice și străine în rezolvarea problemelor comerciale, de transport și juridice legate de realizarea colaborării tehnico-științifice în domeniul;

— efectuării lucrărilor de cercetări științifice, proiectări de construcții și proiectări tehnologice în comun și pe bază de comenzi;

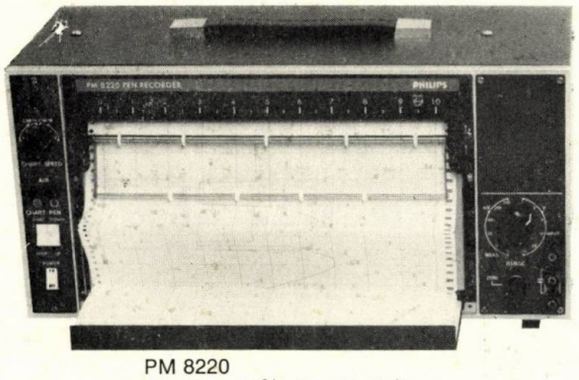


— executării comenzilor organizațiilor sovietice și străine pentru elaborarea și transmiterea documentației tehnico-științifice, precum și pentru confecționarea și închirierea utilajelor științifice, prototipurilor, produselor și materialelor;

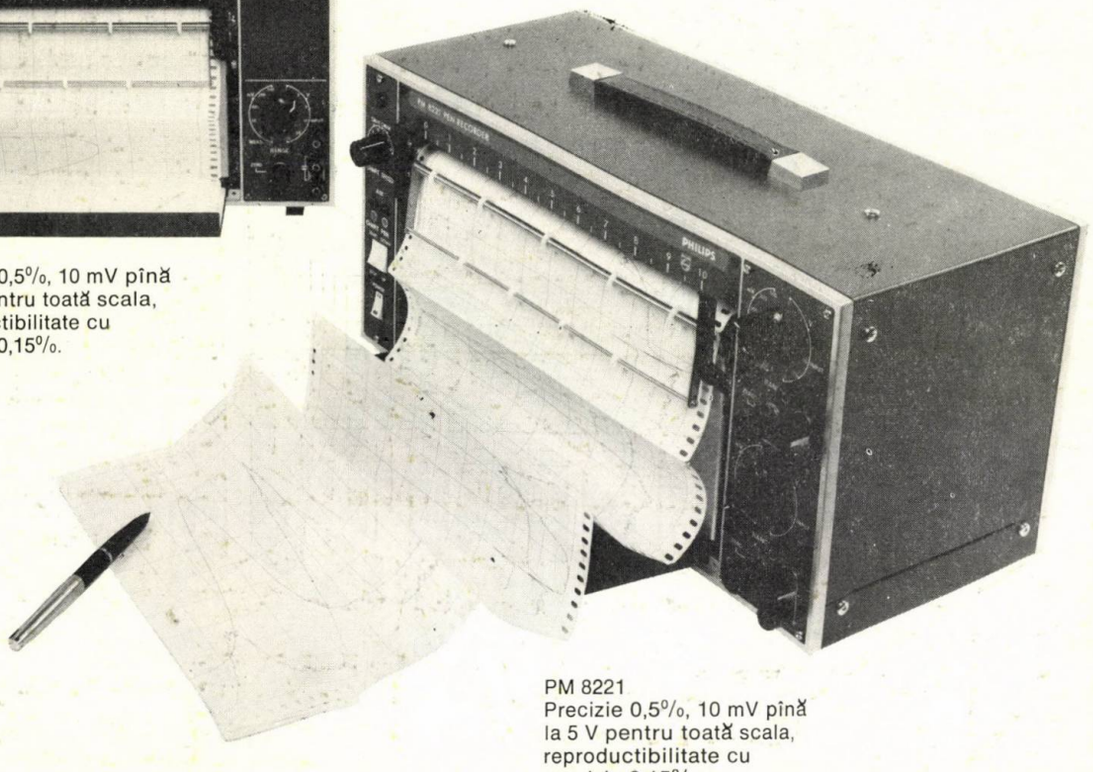
— efectuării de expertize tehnico-științifice, încercări de utilaje și materiale, consultații.

ORGANIZAȚIA UNIONALĂ „VNEȘTEHNIKA"
U.R.S.S., MOSCOVA, UL. GORKOGO 11.

Fiabilitate record la preturi record



PM 8220
Precizie 0,5%, 10 mV pînă la 5 V pentru toată scala, reproductibilitate cu precizie 0,15%.



PM 8221
Precizie 0,5%, 10 mV pînă la 5 V pentru toată scala, reproductibilitate cu precizie 0,15%.

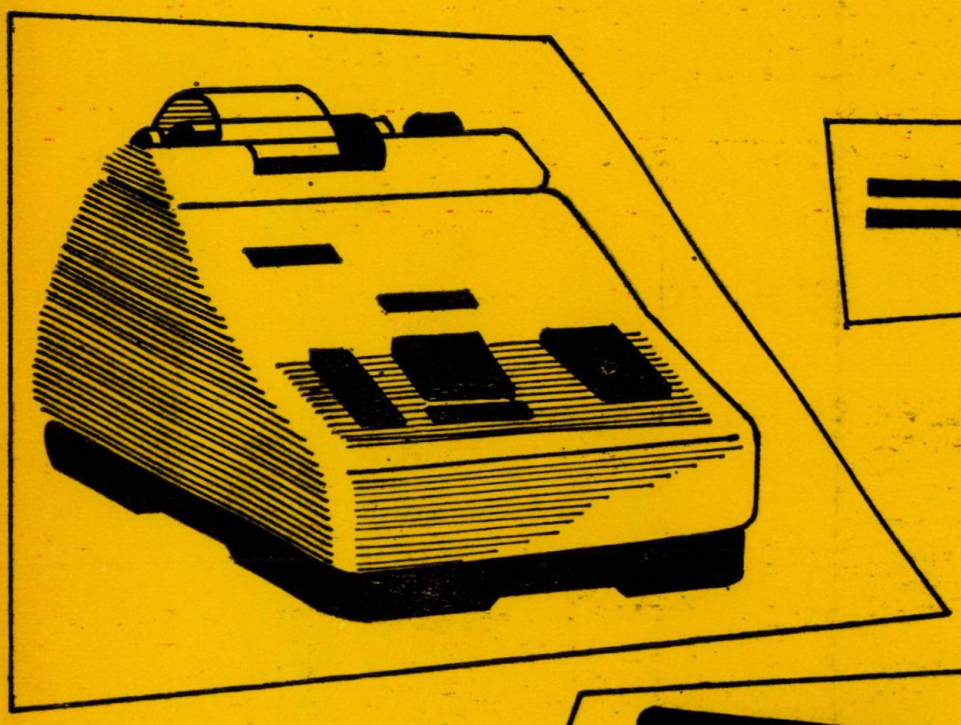
Inregistratoarele Philips PM 8221 cu linie dublă şi PM 8220 cu linie simplă sînt ieftine şi dau înalta calitate şi fiabilitate necesare pentru înregistrări în diverse aplicaţii.
Preţul modest nu corespunde omiterii unor avantaje. Ambele aparate au:
Viteze de derulare variabile - 2,6 sau 8 cm/min. sau oră.
Sensibilităţi de intrare variabile -10 mV pînă la 5 V pentru toată scala.
Deplasarea axei zero oriunde pe toată scala şi verificarea rapidă a poziţiei ei.

Foaie lată de 250 mm împăturită, spre a fi mai uşor de citit, manipulat, păstrat şi schimbat. Cartuş cu cerneală, mare de 9 cm^3 - dă 12 km de urmă trasată pînă la reîncărcare.
Peniţă de safir cu viaţă lungă - pentru reproducere foarte bună, la un timp de răspuns mare.
Un dispozitiv cu aer sub presiune, manipulat de pe panoul frontal, porneşte curgerea cernelii pe hîrtie la începutul lucrului.

Vase încapsulate asigură o fiabilitate ridicată-utile mai ales cînd este necesară o garanţie a fiabilităţii mari.
Aceste înregistratoare sînt compacte şi uşoare. Ele pot fi plasate în spaţii mici sau dispuse peste alt echipament.
Detalii complete se furnizează la cerere scrisă.

Philips Industries,
Departamentul PIT Export, HSM-p,
Eindhoven, Olanda.

PHILIPS



Produsele sînt de calitate superioară, au forme moderne, plăcute şi sînt mult apreciate atît pe piaţa internă cît şi pe cea externă.

Întreprinderea „ELECTROMUREŞ" fabrică un bogat sortiment de produse electrocalorice de uz casnic şi industrial, maşini de calculat electromecanice precum şi o variată gamă de conductori electrici, cordoane pentru aparate de uz casnic, conducte şi cordoane de telecomunicaţii, precum şi seturi de cablaje electrice autotractor.

ELECTRO MUREŞ

ÎNTREPRINDEREA

Electromureş

TÎRGU MUREŞ, str. Kossuth L. nr. 112—114. Telefon: 11817-11818-11819. Telex: 035249

INSTITUTUL DE CERCETARE SI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I

1973-DEC 06

Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive.

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine.

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dv., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele?

1973 OKT 2

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite?

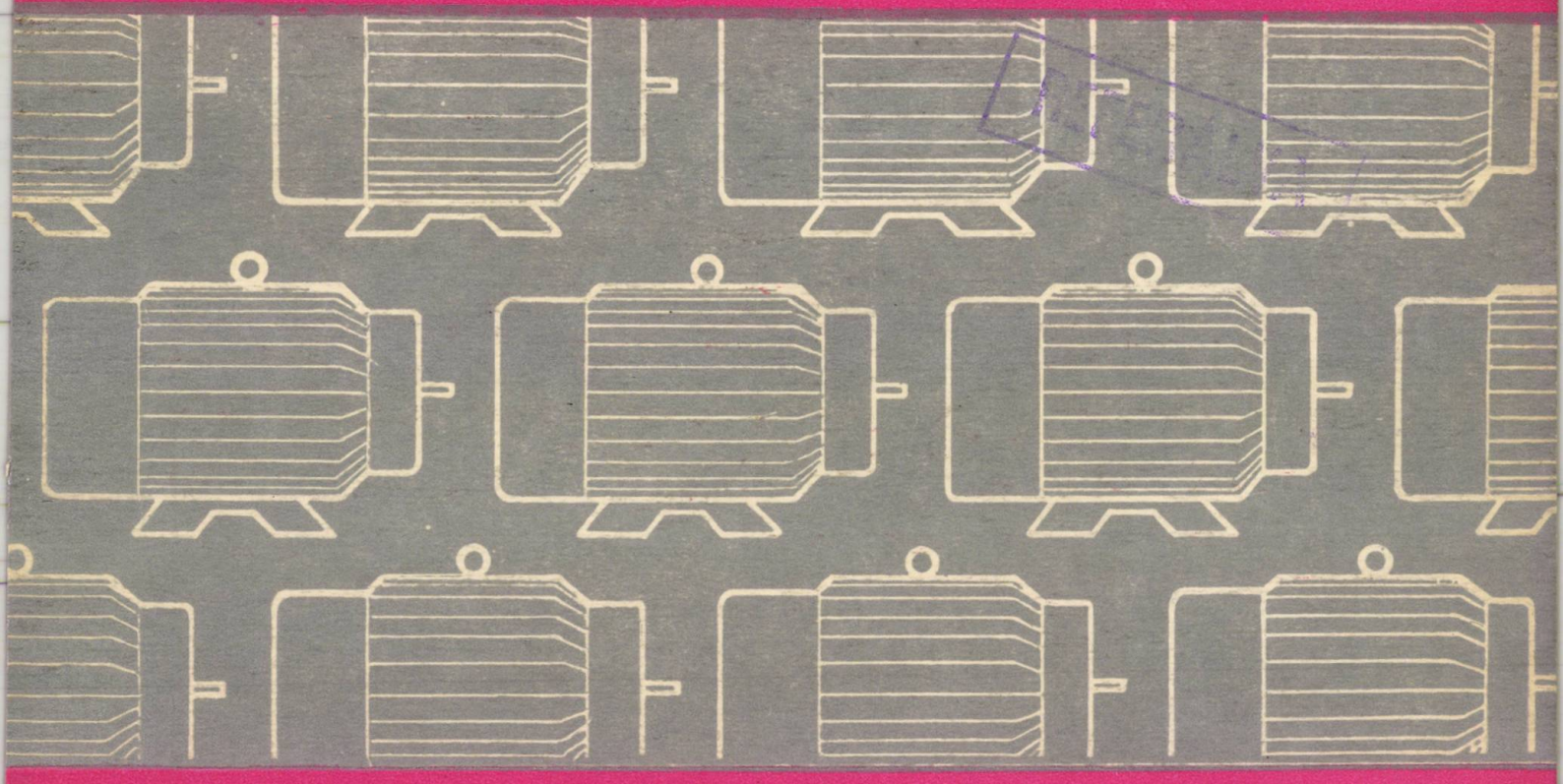
La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 de ani în activitate, care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

ICPE • București • Bd.T.Vladimirescu 45-47 • Telef. 314100

E 2040

ELECTROTEHNICA



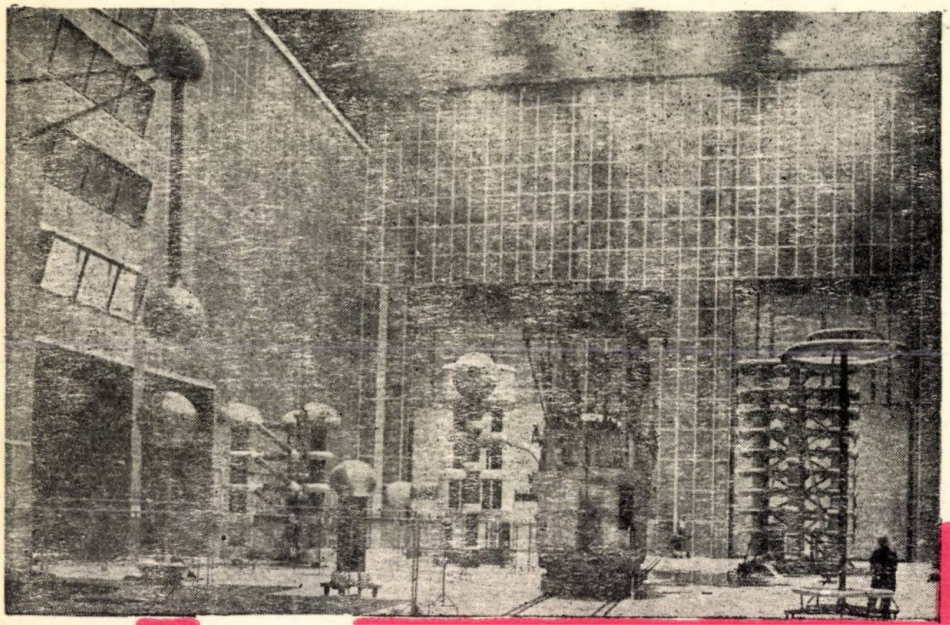
9

ELECTROTEHNICA • BUCUREŞTI • ANUL 21 • Nr. 9 • SEPTEMBRIE 1973

CENTRUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE ELECTROPUTERE CRAIOVA

prin noul său

LABORATOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE



conceput şi echipat modern oferă în domeniul tehnicii tensiunilor înalte următoarele servicii:

— încercări cu tensiune aplicată în gama de frecvenţe 25—150 Hz pînă la 1200 kV;

— încercări cu tensiune aplicată în curent continuu pînă la 1000 kV, 30 mA;

— încercări cu tensiune indusă în transformatoare de putere cu frecvenţă mărită 100—150 Hz, monofazat şi trifazat;

— încercări cu supratensiuni atmosferice 1,2/50 μs pînă la 2400 kV, 192 kWs;

— încercări cu supratensiuni de comutaţie 250/2500 μs, pînă la 1800 kV;

— măsurători de descărcări parţiale şi perturbaţii radio în hală ecranată electromagnetic;

— încercări asupra izolaţiei externe sub ploaie artificială;

— ridicarea caracteristicilor de răspuns ale schemelor de măsurare de înaltă tensiune (divizoare, şunturi);

— încercări pentru caracterizarea materialelor electrotehnice;

— calculul şi modelarea fenomenelor tranzitorii în transformatoare;

— studii şi cercetări pentru dezvoltarea echipamentului electrotehnic de înaltă tensiune.

Craiova, Calea Bucureşti nr. 144; telefon 21871; telex 016228

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 9, pag. 333—373 septembrie 1973

CUPRINS

CZ 621.3.066 : 621.316.57 : 621.317.33

Cîrstea, D., Rarinca, O., Rotileanu, P. şi *Curelaru, A.* : **Laboratorul de mare putere al Uzinelor Electroputere—Craiova.**

Electrotehnica 21, nr. 9, sept 1973, p. 333—342

Instalaţie complexă cu destinaţie specială, un laborator de mare putere bazat pe schemă directă de încercare, ridică probleme deosebite de proiectare, realizare şi punere în funcţiune. În lucrare se prezintă soluţiile adoptate pentru laboratorul de mare putere de la Electroputere—Craiova.

CZ 621.3.014.31 : 621.316.57.064.3 : 681.14

Sasu, Mimi : **Folosirea calculatorului analogic la studierea condiţiilor de instabilitate a unui arc electric, descris de ecuaţia lui Cassie şi Mason.**

Electrotehnica 21, nr. 9, sept 1973, p. 343—350

Pentru modelarea arcului electric de întrerupere, în interacţiune cu circuitul de încercare, se utilizează un calculator analogic. Lucrarea cuprinde metodica de calcul şi analiza unui caz particular de stingere a unui arc electric, descris de ecuaţia lui Cassie şi Mason. Se prezintă rezultatele obţinute în urma cercetării, efectuate cu ajutorul calculatorului analogic asupra modului în care se face trecerea de la regimul de stingere, la regimul de reaprindere a arcului electric.

CZ 621.313.32

Corlăţeanu, V. : **Cu privire la ecuaţiile diferenţiale ale maşinii sincrone.**

Electrotehnica 21, nr. 9, sept 1973, p. 351—360

Se prezintă ecuaţiile generale de funcţionare a maşinii sincrone. Se propune o interpretare teoretică şi diagrame mai corecte, comparativ cu documentele C.E.I. Se face, de asemenea, o analiză atentă a diagramelor fazoriale, existente în literatura de specialitate. Propunerile făcute de autor vor servi C.E.I.-ului la viitoarele recomandări ce se vor face pentru interpretarea mai corectă a funcţionării maşinii sincrone.

CZ 621.313.32.81—501.72 : 53

Măgureanu, R. şi *Macrea, D.* : **Asupra posibilităţilor de modelare fizică a turbogeneratoarelor româneşti de mare putere.**

Electrotehnica 21, nr. 9, sept 1973, p. 360—266

Se prezintă criteriile de similitudine care stau la baza modelării turbogeneratoarelor sincrone şi se trec în revistă metodele de simulare fizică utilizate. Se propune, pentru simularea turbogeneratorului românesc THA—160, utilizarea criogenei, scufundarea întregului model în azot lichid la —170°C, ceea ce conduce la o scădere a tuturor rezistenţelor chimice de circa 8,5 ori. Parametrii calculaţi ai modelului coincid în valori relative cu cei ai originalului, iar încercările experimentale realizate pe o serie de modele statice au confirmat justeţea ipotezelor.

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE 366
TEZE DE DOCTORAT 368
RECENZII — REFERATE 369
MANIFESTĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI TEHNICE . 372

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; dr. ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLĂȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPAȘCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; prof. ing. VL. POPOVICI; academician prof. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director: 50.23.25. Redacția: București, str. Mândinești nr. 3, sector IV; telefon secretar general de redacție: 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon: 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi: lei 100 anual; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri: lei 30 anual. Costul unui exemplar: lei 5. Tiparul: Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 3148. *Taxele poștale pentru anul 1973 plătite în cont-avans conform aprobării D.P.D.P. nr.* 137/10078/1972

41 400

ABONAȚI-VĂ

la revistele:

CONSTRUCȚIA DE MAȘINI

ELECTROTEHNICA

AUTOMATICA ȘI ELECTRONICA

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI-UNELTE ȘI ELECTROTEHNICII ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ȘI PUBLICAȚII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 Nr. 9 București, septembrie 1973

Laboratorul de mare putere al Uzinei Electroputere Craiova*

D. CÎRSTEA, O. RARINCA, P. ROTILEANU și A. CURELARU — Craiova**

CZ 621.3.066:621.316.57:621.317.33

Creșterea continuă a puterilor de scurtcircuit în rețele cu tensiuni din ce în ce mai mari și extinderea interconectării sistemelor electroenergetice ridică probleme noi atît pentru producătorii de echipamente de înaltă tensiune cît și pentru organele de exploatare care trebuie să-și raționalizeze, eventual să-și modernizeze echipamentul existent. Deși tehnica de calcul mașinal a mărit considerabil posibilitățile de executare a unor calcule laborioase și cu precizie ridicată, cercetările experimentale au rol hotărîtor în dezvoltarea unor tipuri de echipamente cum ar fi întreruptoarele de înaltă tensiune. Criteriile de calitate și condițiile de competitivitate devin mai exigente. Fiabilitatea produselor care se bazează în exclusivitate pe experiment, pe practică, tinde să devină o condiție tehnică obligatorie în caietele de sarcini, în norme și standarde. Pornind de la aceste considerente (deși necesită investiții mari), laboratoarele de mare putere continuă să se dezvolte (fig. 1).

Sarcinile complexe ce revin unui laborator de mare putere impun dotarea lui cu o serie de aparate și utilaje speciale ca: generatoare sincrone de șoc, transformatoare ridicătoare sau coborîtoare de scurtcircuit, întreruptoare de protecție, contactoare sincrone, aparatură pentru programare automată a comenzilor, aparatură pentru măsură, înregistrare și protecție, etc.

Utilajele de bază sînt supuse unui regim dur de exploatare cu caracter permanent însoțit de solicitări termice și dinamice mari. Se impune totodată o siguranță mare în exploatare și precizie ridicată în măsurarea îșî înregistrarea fenomenelor studiate. Avînd în vedere aceste aspecte, alegerea utilajelor, aparatelor și tehnologiei pentru un laborator de mare putere impune atenție deosebită și criterii diferite de cele folosite la alegere acestor echipamente pentru regimul normal de lucru. În continuare

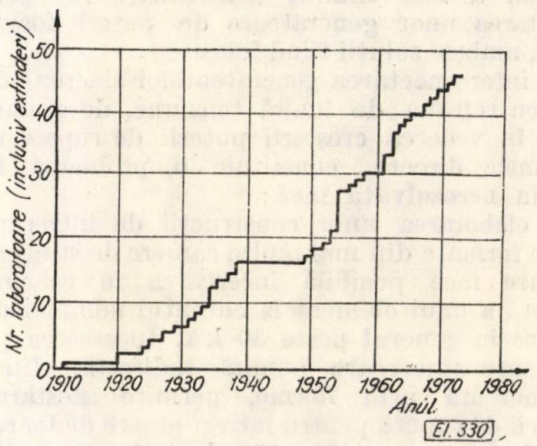


Fig. 1. Dezvoltarea laboratoarelor de mare putere în lume [1], [2], [3]

se prezintă fazele de studiu prealabil, modul de alegere a echipamentelor principale pentru un laborator de mare putere bazat pe schemă directă de încercare dotată cu generatoare sincrone de șoc și soluțiile adoptate.

Schema laboratorului de mare putere

Pentru elaborarea schemei de principiu a laboratorului și alegerea utilajelor de bază s-au studiat prospectele și diferitele publicații care au tratat despre laboratoarele de mare putere existente [1] — [24].

* Proiectul de execuție a fost elaborat de Eletrouzinproiect-București în colaborare cu ISPE București și Centrul de cercetare și proiectare-Craiova.

** Ing. *D. Cîrstea* este dir. adj. șt. al C.C.P. — Electroputere — Craiova; ing. *O. Rarinca* este șeful laboratorului de mare putere al C.C.P. Electroputere — Craiova; ing. *P. Rotileanu* este consilier la Electrouzinproiect — București, iar ing. *A. Curelaru* este șef secție la I.E. Îșalnița — Craiova.

Din analiza efectuată s-au conturat următoarele criterii:

— schemele directe de încercare își păstrează supremația constituind practic singurul mijloc unanim recunoscut pentru verificarea experimentală în vederea atestării performanțelor întreruptoarelor de înaltă tensiune;

— încercările cu parametri reduși (tensiune nominală și curent redus sau invers) nu sînt acceptate decît cu caracter informativ;

— deși s-a depus activitate rodnică în perfecționarea schemelor sintetice de încercare, criteriile de echivalare a rezultatelor din aceste scheme cu cele obținute în scheme directe sînt însă discutabile îndeosebi pentru întreruptoarele cu performanțe ridicate;

— dezvoltarea însăși a unei scheme sintetice de încercare impune existența unei puternice scheme directe care trebuie să asigure circuitul primar de curent mare;

— costul ridicat al bateriilor de condensatoare, pentru schema sintetică, nu este convingător, sub aspect economic, pentru a renunța la dezvoltarea schemelor directe;

— sursa cea mai economică pentru o schemă directă de încercare este generatorul sincron de șoc;

— creșterea puterii de rupere în schemele directe se poate realiza fie prin funcționarea în paralel a mai multor generatoare fie prin montarea unor generatoare de puteri foarte mari, ambele soluții fiind folosite;

— interconectarea generatoarelor sincrone de șoc cu rețeaua de înaltă tensiune, de asemenea, în vederea creșterii puterii de rupere în schemele directe, constituie o problemă în studiu nerezolvată încă;

— elaborarea unor construcții de întreruptoare formate din mai multe camere de stingere unitare face posibilă încercarea în schemă directă a unui element la curentul nominal de rupere în general peste 30 kA. Încercarea pe elemente (încercare numită indirectă), fiind recunoscută prin norme, permite atestarea puterii de rupere pentru întreruptoare de foarte înaltă tensiune (400—750 kV) formate din mai multe camere de stingere în serie.

Pe aceste criterii s-a elaborat o schemă de principiu [25], [26] care a stat la baza alegerii utilajelor principale și la întocmirea unei teme concrete de proiectare a laboratorului.

Schema elaborată (fig. 2) reprezintă o schemă directă de încercare bazată pe generatoare sincrone de șoc cu o putere model de 100 MVA, respectiv o putere de scurtcircuit la închidere de 5200 MVA. Pentru obținerea unei puteri de scurtcircuit mai mari în celula de încercare, s-a decis montarea a trei generatoare identice care să poată funcționa atît separat cît și în paralel. Față de schema folosită frecvent în ultimii ani, dotată cu două generatoare mari (75—100 MVA, putere model) destinate verificării puterii de rupere și un generator mai mic de circa 25 MVA destinat încercărilor de stabilitate termică și dinamică, schema elaborată prezintă următoarele avantaje:

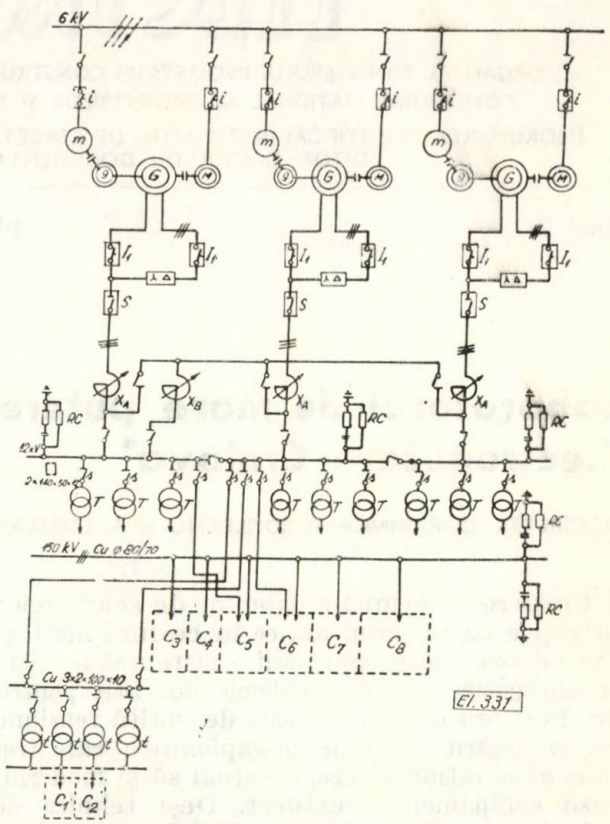


Fig. 2. Schema de principiu a laboratorului de mare putere: i — întreruptor 6 kV; m — motor grup de excitație; g — excitatoare; G — generator de scurtcircuit; M — motorul de antrenare al generatorului; I_1 — întreruptor de protecție; S — scurtcircuitor; X_A — reactanțe de curenți mari; X_B — reactanțe de curenți mici; RC — baterie de condensatoare pentru reglarea parametrilor tensiunii tranzitorii de restabilire; s — separatoare; T — transformator ridicător 12/4×12,75 kV; t — transformator coborîtor 10/4×0,125 kV; $C_1 - C_2$ — celule pentru stabilitatea termică și dinamică; $C_3 - C_8$ — celule de încercare pentru verificarea capacității de comutație.

— crește cu circa 30% puterea de rupere prin conectarea în paralel a trei generatoare;

— oricare din cele trei generatoare identice poate fi folosit la executarea probelor de stabilitate termică și dinamică. Experiența din exploatare a demonstrat că avariile și uzura accelerată a generatoarelor folosite în laboratoarele de mare putere se datoresc în primul rînd solicitărilor termice și îndeosebi dinamice ca urmare a regimului obișnuit de lucru la scurtcircuit brusc și mai puțin solicitărilor mecanice ca urmare a unei turări mai îndelungate la viteza nominală;

— la deteriorarea sau revizia unui generator oricînd rămîne disponibilă o putere de încercare relativ mare;

— montarea unui generator de 100 MVA în loc de 25 MVA reprezintă un cîștig de putere considerabil mai mare decît creșterea cheltuielilor pentru investiția totală.

Cele trei generatoare sînt racordate la un sistem de bare colectoare. Pentru fiecare gene

rator de şoc, legătura la sistemul de bare se realizează prin intermediul a două întreruptoare tip VVZ — 12, a unui scurtcitcuitor tip VA—12 şi bobine de reactanţă pentru li-

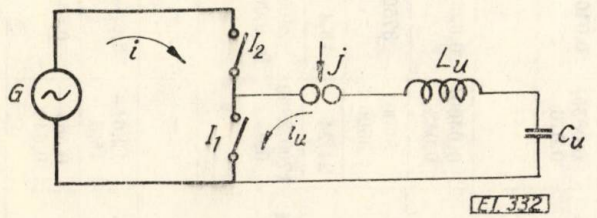


Fig. 3. Schema de principiu pentru încercări sintetice :
i — circuit de curent intens ; i_u — circuit de tensiune înaltă ; — eclator ; I_1, I_2 — întreruptorul încercat şi cel auxiliar ; C_4—L_4 — bateria principală de condensatoare, respectiv, inductanţa circuitului de tensiune ; G — generator sincron de şoc.

mitarea curentului. Din considerente de elasticitate, operativitate şi comoditate în exploatare, sistemul de bare a fost secţionat în trei părţi cu ajutorul separatoarelor tip RVS—15. Deoarece toate manevrele la sistemul de bare se execută fără tensiune nu a fost necesară introducerea de cuple transversale în schemă. În cazul funcţionării în paralel a două sau trei generatoare acestea pot fi legate prealabil între ele printr-un sistem de bare de 15 kV la $I_n = 400$ A şi bobine de limitare a curentului de circulaţie, conexiunea paralel a circuitului principal realizîndu-se prin barele colectoare sau în celula de încercare.

De la sistemul de bare colectoare sînt prevăzute următoarele plecări, spre celulele de probă la tensiunea de lucru a generatoarelor de şoc (12 kV) ; la cele nouă transformatoare ridicătoare de şoc şi de aici la celulele de încercare de înaltă tensiune ; la transformatoarele de şoc coborîtoare (4 buc.) care alimentează două celule pentru încercări de stabilitate termică şi dinamică (la tensiuni pînă la 1000 V). Schema este astfel concepută încît permite pregătirea şi efectuarea simultană a două sau chiar trei probe, fiecare generator debitînd pe cîte o secţiune de bare.

Manevrele de realizare ale diferitelor scheme se efectuează prin separatoare cu comandă de la distanţă cu excepţia racordării transformatoarelor coborîtoare pe partea de joasă tensiune şi a racordurilor în celulele de încercare, unde s-au prevăzut simple eclise.

Această schemă directă de încercare poate constitui fără modificări circuitul de curent pentru oricare dintre schemele sintetice bazate pe două surse (fig. 3), aşa cum sînt prezentate în lucrările [3], [5], [11], [18], [27]. Această premisă constituie baza extinderii ulterioare a laboratorului de mare putere.

Principalele elemente ale schemei

Generatorul sincron de şoc (de scurtcircuit). Pe baza unor studii anterioare [28], [29] în [25], [30] se prezintă argumentele pentru care generatorul sincron de şoc rotativ reprezintă mecanismul electromagnetic cel mai eficient pentru producerea unei puteri foarte mari pe o durată scurtă. În tabela 1 se prezintă principalele date tehnice ale diferitelor tipuri de generatoare sincrone de şoc folosite în laboratoare de mare putere care rezultă din prospectele laboratoarelor [1] — [24] şi alte publicaţii referitoare la aceste utilaje [28] — [35].

Alegerea tipului constructiv (tip turbo- sau poli aparenţi) este mult mai dificilă şi s-au conturat următoarele precizări care permit anumite concluzii. Generatoarele tip turbo- (1500—3000 rot/min) faţă de generatoarele lente cu poli aparenţi (750—1000 rot/min) permit o utilizare mai economică a materialelor de construcţie folosite, realizînd o putere, respectiv energia de şoc specifică mai mare.

Curentul de scurtcircuit la închidere este mai mare la generatoarele turbo decît la cele cu poli aparenţi, fără însă a-l putea valorifica la determinarea puterii de rupere la întreruptoare care se face la minimum 0,03 secunde de la stabilirea scurtcircuitului, În consecinţă, curentul iniţial de scurtcircuit mai mare şi care se amortizează rapid dezavantajează generatoarele tip turbo prin solicitări electrodinamice mari la închidere. La verificarea stabilităţii termice şi dinamice şi a puterii de rupere în ciclu de reanclanşare rapidă automată este necesară folosirea excitaţiei de şoc pentru a întîrzia amortizarea rapidă a curentului de scurtcircuit. În timp ce la turbogeneratoare este necesar un curent de excitaţie de şoc de 20—30 de ori valoarea curentului la mers în gol, pentru generatoarele cu poli aparenţi este suficientă o forţare a excitaţiei de numai 10—15 ori curentul de mers în gol, iar după unii autori [34] chiar cu eficienţă mai bună.

Datele de performanţă de la maşinile rapide şi lente în diversitatea lor se întrepătrund şi nu permit astfel o alegere precisă de valori avantajoase şi dezavantajoase. Luînd în consideraţie experienţa de exploatare, a generatoarelor rapide mai mare decît la cele lente, precum şi din considerente economice, s-au ales pentru laboratorul de mare putere de la Craiova trei generatoare identice tip TI—100-2 produse de Uzina Electrosila-Leningrad cu performanţele prezentate în tabela 1, coloana 13.

Generatorul TI—100—2 este cuplat pe acelaşi ax cu electromotorul de antrenare, avînd rotorul bobinat, a cărui putere nominală este de 2000 kW la tensiunea de alimentare de 6 kV şi viteza de 3000 rot/min.

Fiecare generator de şoc este prevăzut cu cîte un grup, motor asincron — generator de curent continuu, care îndeplineşte funcţia de excitatrice. Motorul de antrenare al generatorului de curent continuu, alimentat la 6 kV are o putere de 200 kW şi o turaţie de 985 rot/min.

Tabela 1

Date tehnice de bază pentru diferite construcţii de generatoare sincrone de şoc

Producător / Parametru	ACEC	OERLIKON (KEMA)	WESTING-HOUSE	ASEA	FUSI	AEG	SIEMENS	SIEMENS	TOSHIBA	TOSHIBA	BROWN BOVERI	ELEKTRO-SILA
Anul construcţiei	1952	1961	1962	1960	1962	1962	1954	1963	1964	1964	1962	1968
Tipul constructiv	turbo	turbo	turbo	turbo	cu poli aparenţi	cu poli aparenţi	turbo	cu poli aparenţi	turbo	turbo	turbo	turbo
Turaţia, rot/min	3000	3000	3600	1500	1000	750	3000	750	3000	1500/1800	3000	3000
Frecvenţa, Hz	50	50	60	50	50	50	50	50	50	50/60	50	50
Puterea model S_N, MVA	70	70	150	180	60	100	64	200(300)	200	125/150	280	100
Tensiunea nominală, kV	12	11	16,5	13	22	7,8	19	19	11	11/13,2	13	10(12)
Diametrul exterior, D_e, mm	2160	—	2260	3500	3300	—	2230	4200	—	—	—	2320
Diametrul interior, D_i, mm	1026	1100	1100	1800	2250	2600	1060	3200	—	—	—	1080
Lungimea rotorului, L,mm	4040	4000	5480(5690)	4500	2890 (3200)	3550	4000 (4500)	4800 (5200)	—	—	—	5600
Greutatea statorului, t	100	—	—	143	—	—	156	390	328	240	200	164
Greutatea rotorului, t	29	—	—	90	—	150	40	200	80,2	125	55	48
Greutatea totală, t	1500	—	—	—	—	—	—	—	464,8	430,2	—	—
Conexiune												
Reactanţa sincronă X_d ohm/fază	1,965	—	1,36	0,65	2,87	—	5,06	0,955	0,314	0,480/ 0,575	0,65	1,24
Reactanţa tranzitorie saturată X'_d, ohm/fază	0,076	0,0745	0,0780	0,076	0,254	—	0,259	0,0756	0,0248	0,0635/ 0,076	0,040	0,070
Reactanţa supratranzitorie nesaturată X''_d, ohm/fază	0,099	—	—	0,070	—	0,0144	0,170	0,081	—	—	—	0,053
Reactanţa supratranzitorie saturată X''_d, ohm/fază	0,057	0,0485	0,0372	0,0527	0,225	0,0122	0,146	0,072	0,0163	0,0400/ 0,048	0,025	0,045
Puterea de scurtcircuit la borne S''_k, MVA	2500	2500	7300	3200	2160	5000	2500	4800	7400	3000/ 3600	3750	2500
Raportul S''_k/S_N	35,7	35,7	48,7	16,66	36	50	39	24(16)	37	24/24	13,4	25
Puterea de deconectare S_D fără transformator, MVA	1400 la 0,06 s	—	—	2500 la 0,2 s şi excit.şoc	1655 la 0,03 s	3000 cu excit.de şoc la 0,06 s	2000	4250 cu excit.de şoc	4900 la 0,30 s	1700/2300 0,03 s	2400 la 0,06 s	1700 la 0,06 s
Puterea de deconectare S_D cu transformator, MVA	—	1500	3000 cu excit.şoc	2000	—	2000	1500	2800 cu excit.şoc	—	—	—	—
Raportul S_D/S_N	20/—	—/21,4	—/20	13,9/11,1	27,6/—	30/20	31,2/ 23,4	21,2(14,2)/ 14(9,3)	24,5/—	12,6/— 15,3	8,6/—	17/—
Raportul S_D/S''_k	0,56/—	—/0,6	—/0,411	0,78/0,625	0,766/—	0,6/0,4	0,8/0,6	0,89/0,58	0,66/—	0,565/— 0,640	0,64/—	0,68/—

Generatorul de curent continuu, cu o putere nominală de 300 kW, poate dezvolta, pe o durată de o secundă, o putere de pînă la 600 kW şi este deservit de o subexcitatrice de 9 kW şi 230 V — cu excitaţie independentă, alimentată de la bateria de acumulatoare a laboratorului de mare putere.

Reglajul tensiunii generatorului de scurtcircuit se realizează cu ajutorul a două reostate şi anume unul, cu acţionare manuală, montat în circuitul de excitaţie al subexcitatricei şi al doilea, cu acţionare prin servomotor, montat în circuitul rotoric al subexcitatricei.

Pentru realizarea protecţiei generatoarelor de scurtcircuit, s-au avut în vedere toate protecţiile uzuale pentru un generator din această categorie. O atenţie sporită s-a acordat protecţiei împotriva supratensiunilor de comutaţie, în care scop s-au prevăzut:

— descărcătoare cu suflaj magnetic pentru tensiunea nominală de 12 kV montate cîte unul pe fiecare fază a barelor de 12 kV şi pe bornele generatoarelor de şoc;

— condensatoare de 10,5 kV — 0,8 μF, montate în baterii de 0,8—2,4 μF pe fiecare fază a barelor colectoare de 10 kV. Montarea şi alegerea exactă a capacităţii se va face în funcţie de natura încercărilor şi de caracteristica schemei de încercare.

Aparatele de protecţie — întreruptoarele — au fost prevăzute cîte două pe fiecare generator de scurtcircuit, ambele în interiorul triunghiului de conexiuni ale înfăşurărilor generatorului. Releele de protecţie transmit comenzi de deconectare ambelor întreruptoare, diferenţiat însă ca timp, funcţie de natura defectului.

O atenţie deosebită s-a acordat asigurării ungerii lagărelor generatoarelor în cazul unor avarii la serviciile interne. Astfel, în afară de montarea unei pompe de ulei — antrenată de un motor de curent continuu (ca pompă de rezervă), s-au prevăzut şi rezervoare de ulei amplasate la înălţime, capabile să alimenteze cu ulei, prin cădere liberă, circuitele de ungere ale generatoarelor pe o durată de 10 minute. În cazul apariţiei unor avarii cu caracter cu totul deosebit la generator (incendii, rămînerea fără ulei de ungere, etc), s-a prevăzut posibilitatea frînării dinamice rapide a generatoarelor, prin introducerea în circuitul statoric al motorului de antrenare a unui curent de circa 250 A curent continuu.

Transformatoare ridicătoare de şoc (scurtcircuit). Analiza parametrilor transformatoarelor ridicătoare prezentate în prospectele laboratoarelor [1] — [24] sau în alte publicaţii de specialitate [36] a dovedit o foarte mare dispersie de performanţe şi date tehnice. În consecinţă, a apărut necesitatea elaborării unei teme de proiectare pentru aceste transformatoare formulînd criterii care se bazează pe cerinţele actuale rezultate din schema de principiu adoptata şi perspectiva de dezvoltare.

Ca un criteriu axiomatic, s-a considerat adoptarea unităţilor monofazate mai uşor de construit şi mai economic de utilizat în diferite conexiuni serie-paralel, mono şi trifazat.

Din considerente impuse de valorile tensiunilor secundare necesare probelor echipamentului electrotehnic cît şi din dorinţa de a avea o reactanţă cît mai scăzută, s-au stabilit, pentru transformatoarele ridicătoare de şoc proiectate şi executate la Electroputere, următoarele caracteristici principale:

— tensiunea nominală la mersul în gol
joasă tensiune, 12 kV,
înaltă tensiune, 4×12,85 kV;

— impedanţa de scurtcircuit pentru conexiunea 12/51 kV raportată la primar, 0,043 Ω;

— clasa de tensiune a bornelor de înaltă tensiune, 110 kV;

— clasa de tensiune a bornelor de joasă tensiune 35 kV.

Transformatoarele pot lucra pe primar în conexiunea monofazată şi trifazată (stea triunghi) iar în secundar cu înfăşurările serie, paralel sau serie-paralel (două cîte două) în toate variantele posibile ca număr de înfăşurare şi tip de conexiune;

— curentul limită dinamic
al înfăşurării de joasă tensiune, 320 kAmax
al înfăşurării de înaltă tensiune, 4×75 kAmax;

— puterea maximă de scurtcircuit pe unitate de transformator, admisă timp de 2 sec, 1500 MVA.

Transformatoare coborîtoare de şoc monofazate servesc pentru încercările de stabilitate termică şi dinamică. Transformatoarele sînt în număr de patru şi se alimentează direct din barele colectoare de 12 kV.

Caracteristicile tehnice ale unui transformator coborîtor de şoc de tip OMI—10000/10 sînt următoarele:

— putere model, 10 MVA;

— tensiunea de scurtcircuit raportată la puterea model, 7,15%;

— tensiunea nominală a înfăşurării de înaltă tensiune, 10 kV;

— tensiunea nominală a înfăşurării de joasă tensiune, 0,125; 0,250; 0,5 kV.

În cazul utilizării unuia sau mai multor transformatoare se obţine pe partea de joasă tensiune valorile din tabela 2 respectiv tabela 3.

Tabela 2

Valorile nominale pentru un transformator tip OMI 10000/10

Tensiunea în secundar la mersul în gol, V	Valorile nominale ale curentului în secundar, kA	Puterea nominală de tip, kVA
125	80	10000
250	40	10000
500	20	10000

Tabela 3

Valorile admisibile ale curenților de scurtcircuit în secundar la diferite scheme de conexiuni pentru transformatorul OMI 10000/10

Schema de conexiuni a înfășurărilor pe secundarul transformator.	Tensiuni în secundar la mers în gol, V	Curentul de scurtcircuit	
		de șoc, kA max	Valoarea eficace stabilizată, kA
Monofazat cu un transformator	125	800	320
	250	400	160
	500	200	80
Monofazat, bobinele a patru transformatoare legate în serie-paralel	250	1600	640
	500	800	320
	1000	400	160
Trifazat în stea cu trei transformatoare	215	800	230
	430	400	160
	860	200	80
Trifazat cu triunghi cu trei transformatoare	125	1380	550
	250	690	275
	500	345	137,5

Întreruptoarele de protecție. La alegerea acestui întreruptor de care depinde siguranța în exploatare a laboratorului, s-a ținut seama la corelarea puterilor de scurtcircuit care apar pe barele de 12 kV și performanțele sale. S-a ales întreruptorul tip VVZ—12 derivat dintr-un întreruptor de generator, experimentat deja în cîteva laboratoare de mare putere care constituie furnitura întreprinderii Electroaparat Leningrad. Parametrii principali ai întreruptorului VVZ—12 se dau în tabela 4. Pentru a mări gradul de protecție a generatoarelor s-au prevăzut pentru fiecare generator cîte două întreruptoare montate astfel încît întotdeauna să rupă curentul de fază.

Tabela 4

Date tehnice ale întreruptorului VVZ-12

Tensiunea nominală	10 kV
Tensiunea maximă de lucru	12 kV
Curentul de rupere în exploatare :	
— valoarea eficace inițială a componentei simetrice	95kA
— amplitudinea	165 kA max
Curentul de rupere de avarie :	
— valoarea eficace inițială a componentei simetrice	100 kA
— amplitudinea	225 kA max
Amplitudinea curentului limită de trecere	
— de exploatare	200 kA max
— de avarie	330 kA max
Curentul de stabilitate termică la 1 s	120 kA
Timpul de declanșare din momentul dării impulsului pînă la stingerea completă a arcului	max 0,13 s
Timpul propriu de anclanșare al întreruptorului	max 0,1 s
Presiunea nominală a aerului comprimat	20 ata

Scurtcircuitoarele (contactoarele sincrone) utilizate în cadrul laboratorului de mare putere de la Craiova sînt de tipul VA—12 aparat monopolar cu aer comprimat, cu acționarea individuală de la un dulap special de comandă. Închiderea aparatului se face prin intermediul unor resorturi la eliberarea mecanismului de blocare de către un electromagnet, ultimul acționînd în momentul descărcării prin el a unui condensator de înaltă tensiune. Deschiderea aparatului se face cu ajutorul dispozitivului de acționare pneumatic, comandat cu un dispozitiv electropneumatic. Cavitatea inferioară a fiecărui pol este în permanență umplută cu aer comprimat la 6 atm. Caracteristicile tehnice principale ale scurtcircuitorului VA — 12 sînt indicate în tabela 5.

Tabela 5

Date tehnice ale scurtcircuitorului VA-12

Tensiunea nominală	10 kV
Tensiunea maximă de lucru	12 kV
Curentul de închidere	
— amplitudinea	330 kA max
— valoarea eficace a componentei simetrice	120 kA
Curentul limită la stabilitatea termică	
— în regim de lucru la t=0,3 s	120 kA
— în regim de avarie la t=1 s	120 kA
Dispersia timpului de conectare	± 5 grade electr.
Presiunea aerului comprimat	6 ata

Limitarea curenților de scurtcircuit se realizează cu ajutorul unor *bobine de reactanță*, fără miez magnetic, de construcție specială. Bobinele de reactanță utilizate, proiectate și executate la Electroputere [37] sînt de două feluri :

— tip A — pentru curenți mari
— tip B — pentru curenți mici.

Din punct de vedere constructiv, *bobinele de reactanță de curenți mari* prezintă o soluție nouă, deosebită de bobinele de reactanță clasice. Noutatea constă din faptul că se folosește o singură bobină modul, precum și din soluția constructivă, un model fiind executat din folie de cupru, prin rulare împreună cu două straturi de hîrtie lăcuită. Întregul ansamblu este turnat în rășină Dinox 110. Bornele fiecărei bobine sînt confecționate prin tăierea unor fîșii în lungul foliei de cupru și îndoirea lor la 90° una peste celaltă. La începutul și sfîrșitul benzii sînt utilizați egalizatori.

Pentru a se acoperi cît mai uniform o gamă cît mai mare a impedanței, cu un număr cît mai mic de module, s-a ales pentru impedanța modulului, la 50 Hz, valoarea de 0,1 Ω iar pe fiecare fază 18 module. Aceasta asigură o gamă de variație între 5,56 mΩ și 1800 mΩ în 75 trepte. Cele 18 bobine modul sînt montate într-un stativ cu juguri de lemn. Așezarea

orizontală asigură o inductanţă mutuală foarte mică (circa 1% din cea proprie), astfel încît la legarea în serie sau în paralel a modulelor între ele, valoarea rezultantă se poate antecalcula cu precizie. De asemenea, forţele electrodinamice care apar între bobine sînt mici. Cadrul metalic de susţinere este astfel realizat încît în el să nu se inducă curenţi datorită cîmpului electromagnetic al bobinelor.

Pentru realizarea diverselor legături între modulele care alcătuiesc o fază este utilizat un panou de conexiuni speciale.

Bobinele de reactanţă pentru curenţi mici sînt în număr de trei, cîte una pe fiecare fază, iar schema electrică este astfel realizată încît permite fiecărui generator să poată fi conectat prin aceste bobine spre celulele de încercare. Ele sînt executate după sistemul bobinajului în galeţi. Ele se compun din şase trepte dispuse pe două coloane presate prin intermediul a două cadre de consolidare strînse cu şase tiranţi.

Reactanţa totală a bobinelor de curenţi mici, pentru o fază, variază de la zero la 565 ohmi iar curenţii de lucru între 35 A şi 2000 A. Schimbarea reactanţei se face tot cu ajutorul unor eclise, care se montează pe bornele scoase pe placa de borne ale fiecărei bobine de reactanţă.

Sistemul de bare de medie tensiune (12 kV). Problema principală ce trebuie rezolvată la proiectarea acestei părţi a instalaţiei a constituit-o realizarea unor căi de curent cu reactanţe cît mai mici. Au fost analizate mai multe variante, inclusiv turnarea barelor în răşini sintetice. În urma multiplelor analize cît şi a posibilităţilor existente de realizare cu mijloace autohtone a sistemului de bare de medie tensiune, s-a adoptat o soluţie propusă de specialiştii de la Institutul Politehnic Bucureşti şi Electrouzinproiect Bucureşti, ce constă în realizarea de bare ecranate de o construcţie specială. Aceste bare au fost executate de către I.I.S.-Energomontaj în colaborare cu uzina Electroputere.

Sistemul de bare de înaltă tensiune este situat la cota +9,30, deasupra sălii transformatoarelor în două etaje. Sistemul de bare, longitudinal, este suspendat de izolatoare de suspensie cu capă. Calea de curent este formată din ţeavă de aluminiu cu dimensiunile Ø80 cu perete gros de 10 mm. Aşezate pe planşeul de la cota +9,30 se află separatoarele necesare racordării transformatoarelor ridicătoare şi ieşirile în celulele de încercare. Întregul sistem este izolat pentru 150 kV faţă de masă. Legăturile între cele două etaje din care este format sistemul se realizează cu conductor flexibil.

Circuitele de măsură şi comandă. Funcţie de specificul laboratorului de mare putere, comenzile şi măsurile schemelor au fost împărţite în două categorii :

— circuite de măsură şi comandă a surselor de energie (generatoare şi anexele lor);

— circuite de măsură şi comandă pentru executarea probelor.

S-a mers pe principiul ca dintr-un punct apropiat sălii maşinilor să se poată controla, măsura şi comanda toţi parametrii generatoarelor sincrone de şoc serviciile lor proprii, de aici putîndu-se executa toate manevrele de porniri ale generatoarelor şi aducerea lor la parametrii apropiaţi de cei ai probelor. Realizarea scurtcircuitului, forţarea excitaţiei, urmărirea şi înregistrarea parametrilor probei se fac din camera de comandă şi observare, amplasate în imediata vecinătate a celulelor de încercare.

Amplasarea utilajelor

Laboratorul de mare putere din Craiova este amplasat în partea sudică a incintei Uzinelor Electroputere, lîngă platforma de încercări în aer liber a laboratorului de înaltă tensiune, (fig. 4).

În afară de calea ferată pentru transportul utilajelor proprii sau al celor aduse pentru a fi încercate, s-au prevăzut drumuri uzinale, dimensionate pentru circulaţia vehiculelor speciale pe pneuri.

Amplasarea utilajelor şi fluxul tehnologic, sînt realizate conform schemei din figurile 5 şi 6.

În corpul principal (corpul A) la cota zero sînt amplasate cele trei generatoare de şoc cu motoarele lor de acţionare. În aceeaşi hală, lîngă generatoare se găsesc grupurile de excitaţie. S-a lăsat de asemenea loc pentru amplasarea în viitor a excitatricelor de şoc. Hala este dotată cu un pod rulant de 50/12 t care permite manevrarea rotorului generatorului de şoc şi a instalaţiilor sale anexe. În partea de vest a sălii maşinilor, pe trei nivele, sînt amplasate instalaţiile aferente gospodăriei de ulei, alimentării cu apă de răcire, staţiei de aer comprimat şi bateriilor de acumulatoare cu instalaţiile auxiliare. În partea de est a sălii maşinilor într-o deschidere de 12 m sînt amplasate întreruptoarele de protecţie, scurtcircuitoarele, bobinele de reactanţă de pe circuitul de sincronizare, comutatoarele stea triunghi ale generatoarelor, instalaţiile aferente pornirii motoarelor de 2000 kW.

La cota +6 m se găsesc bobinele de reactanţă tip A şi B, sistemele de bare colectoare de 12kV cu toate separatoarele de racord aferente transformatoarelor ridicătoare, generatoarelor de şoc şi celulelor de 12 kV, iar la cota +10 m condensatoarele pentru limitarea supratensiunilor de comutaţie, condensatoarele şi rezistenţele pentru reglajul parametrilor tensiuni tranzitorii de restabilire. În continuare, tot pe partea de est, adiacent sălii reactoarelor, se

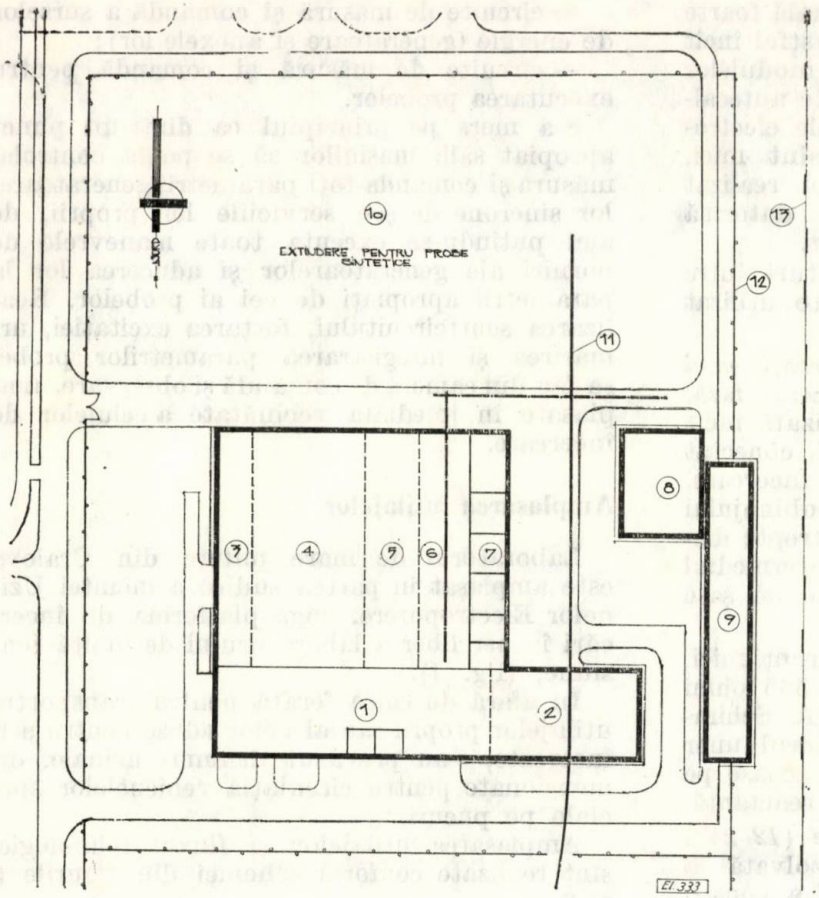


Fig. 4. Amplasarea laboratorului de mare putere.

Corp B: *1* – servicii interne, laborator stabilitate termică și dinamică; 2 – hală de montaj și reglaj.
Corp A: *3* – baterie de acumulatoare și instalația de ungere și răcire; *4* – sala mașinilor *5* – sala întreruptoarelor, reactoarelor, sistem de bare de 12 kV și bateria de condensatoare; *6* – sala transformatoarelor ridicătoare și a sistemului de bare de 150 kV; *7* – celulele de încercare
Corp C: *8* – camera de observare nr. 1.
Corp D: *9* – ateliere și birouri; *10* – *13* – anexe, și extindere.

mandă (pe trei nivele); corpul de încercări de stabilitate termică — tot pe trei nivele, compus din celule de încercare, sala transformatoarelor coborîtoare de șoc și camera de observare—2; corpul de probe cinematice și atelier de pregătire probe, care au numai parter.

Construcția corpului de observare este concepută complet separat, ca o clădire independentă, amplasată la 35 m de celulele de încercare, în fața acestora. Funcțional, clădirea este împărțită în două corpuri: corpul C — care conține camera de observare-1, cu anexele necesare și corpul D — în care se află camerele de supraveghere ale celulelor de încercare,

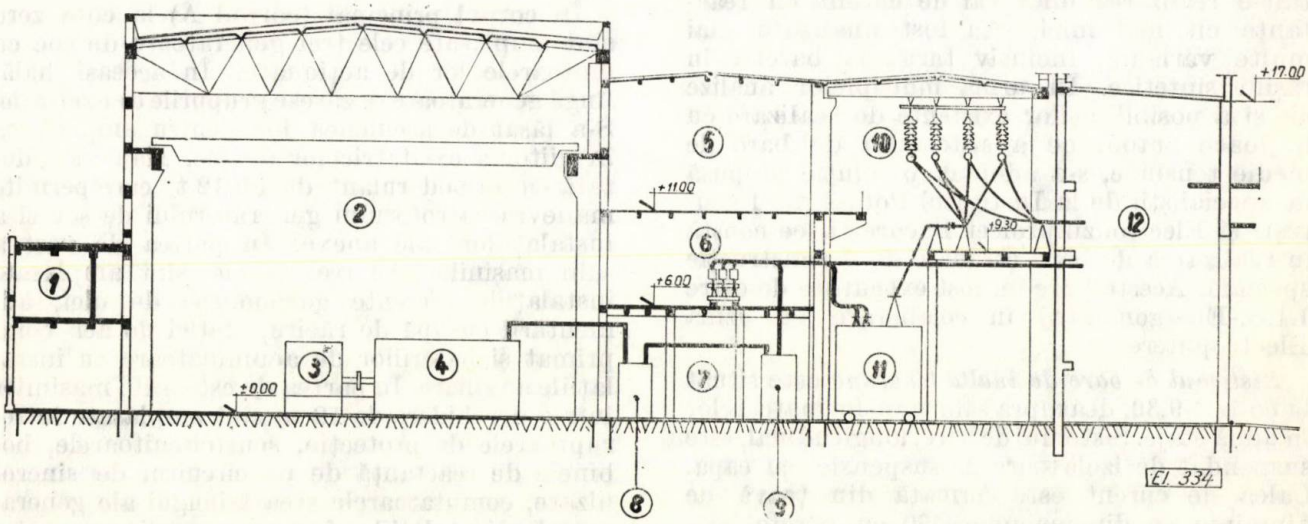


Fig. 5. Amplasarea utilaje în corpul A (secțiune):

1 – bateria de acumulatoare; *2* – sala mașinilor; *3* – motorul de antrenare al generatorului; *4* – generatorul de scurtcircuit; *5* – bateria de condensatoare; *6* – sala reactoarelor și sistemului de bare de 12 kV; *7* – sala întreruptoarelor scurtcircuitoarelor și bobinelor de sincronizare; *8* – întreruptor de protecție; *9* – scurtcircuitor; *10* – sala sistemului de bare de 150 kV; *11* – transformator ridicător; *12* – celulă de încercare.

află sala transformatoarelor ridicătoare de șoc, iar după aceasta sînt cele 6 celule de încercări la medie și înaltă tensiune.

În partea de sud a corpului principal, pe toată lungimea lui este amplasat corpul B în care se află (începînd de la vest spre est): corpul serviciilor interne și al camerei de co-

laboratoare AMC și PRAM și spații de lucru necesare pregătirii teoretice a probelor și a prelucrării rezultatelor.

Cele trei centre de măsură și comandă sînt amplasate astfel:

— *camera de comandă*, amplasată în zona serviciilor interne, adiacentă sălii mașinilor,

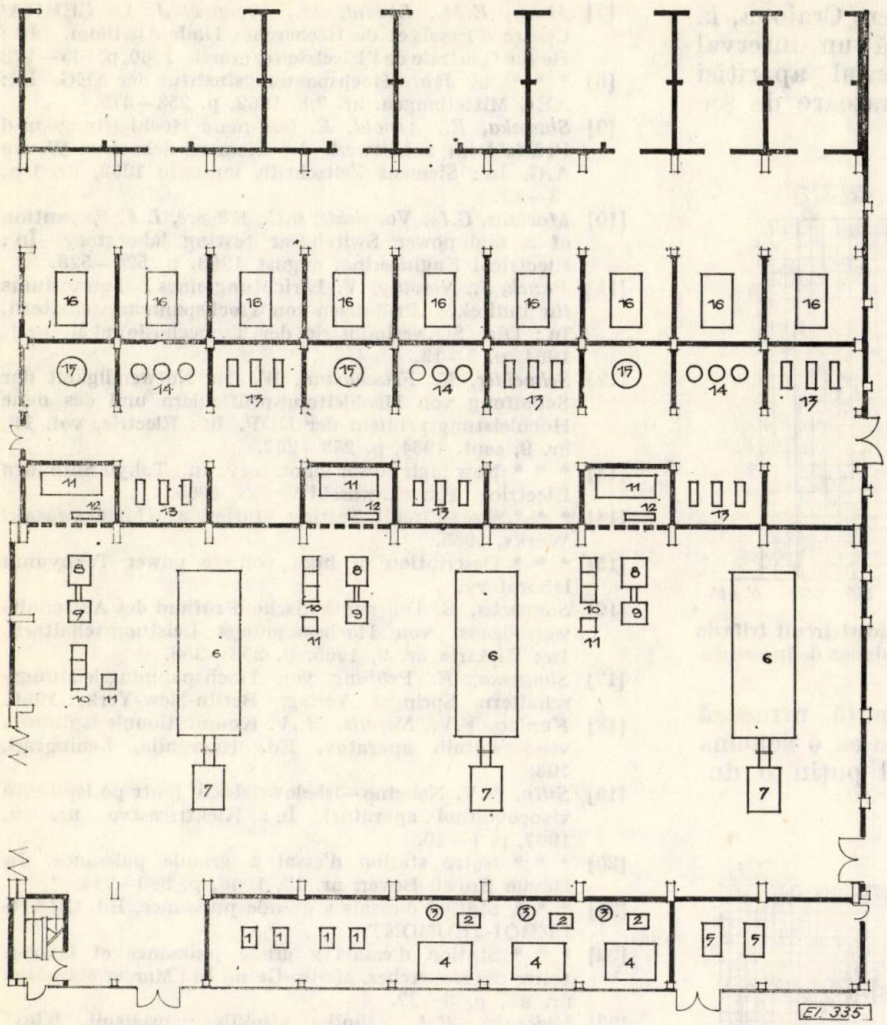


Fig. 6. Amplasare utilaje în corpul A :

1 — 4 — instalație de ungere ; *5* — compresoare de aer comprimat ; *6* — generatoare de scurtcircuit ; *7* — motor de antrenare al generatorului ; *8* — excitatoare ; *9* — motor de antrenare al excitatoarei ; *10* — panouri de excitație ; *11* — celulă frînare dinamică ; *12* — stație automată pentru pornirea motorului generatorului ; *13* — întreruptoare de protecție VVZ—12 ; *14* — scurtcircuitoare VA—12 ; *15* — reactoare de sincronizare ; *16* — transformatoare ridicătoare 12/4 × 12,75 kV ; *17* — celule de încărcare.

în care sînt prevăzute toate comenzile, măsurări și protecții aferente serviciilor interne pe partea electrică și mecanică ale celor trei generatoare de șoc, pornirea și lansarea grupurilor, precum și alcătuirea schemei aferente încercării ce urmează a se executa ;

— *camera de observare nr. 1* din corpul D de unde se poate executa punerea în paralel și excitarea generatoarelor, punerea în funcțiune a programatoarelor automate care comandă procesele aferente probei și înregistrarea parametrilor ce interesează. În această cameră există și un panou sinoptic al întregului circuit electric în care se semnalizează configurația schemei în care urmează a se face încercarea ;

— *camera de observare nr 2* amplasată în corpul B, conține echipamente de comandă, măsură și înregistrare necesare executării încercărilor de stabilitate termică și dinamică și încercărilor cinematice ale aparatelor de comutație, care se execută în atelierul de încercări și reglaje mecanice.

Între camera de comandă și camerele de observare există legături de măsură, semnalizare și telefonice care permit o coordonare perfectă a manevrelor cerute de executarea probelor.

Performanțele laboratorului

La aprecierea performanțelor laboratorului de mare putere s-au făcut anumite calcule pentru diferite scheme de conectare a generatoarelor și transformatoarelor și s-a ținut seama și de puterile realizate de generatoarele TI—100—2 în alte laboratoare unde au fost deja experimentate. Comparația performanțelor laboratorului de la Craiova cu cele ale celor mai mari laboratoare din lume se prezintă în figura 7 și se constată că se situează printre laboratoarele cu cele mai ridicate performanțe.

În figurile 8 și 9 sînt reprezentate grafic variațiile puterilor maxime de scurtcircuit trifazat, respectiv bifazat, care se pot obține în laboratorul de mare putere al Centrului de Cercetare și Pro-

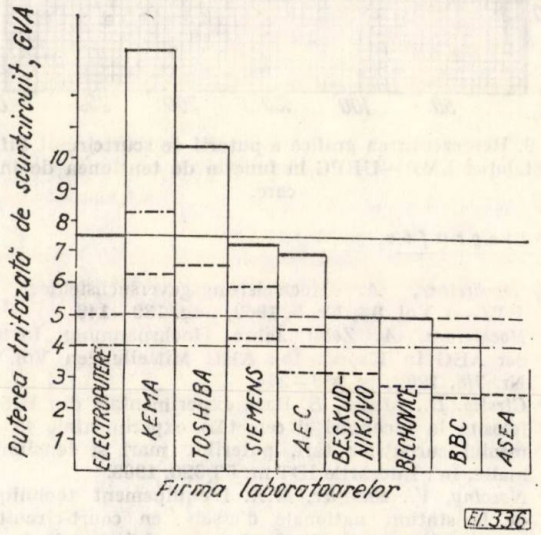


Fig. 7. Diagramă comparativă a laboratoarelor de mare putere după puterea de scurtcircuit în regim trifazat :

– – – puterea de scurtcircuit a generatoarelor la închidere ;
– – – puterea de scurtcircuit disponibilă în celula de încercare fără transformatoare ridicătoare ;
– – – puterea de scurtcircuit disponibilă în celula de încercare cu transformatoare ridicătoare.

iectare de pe lîngă Electroputere Craiova, la deschiderea întreruptoarelor după un interval de timp de 60 ms din momentul apariţiei scurtcircuitului, cele trei generatoare de şoc funcţionînd în paralel.

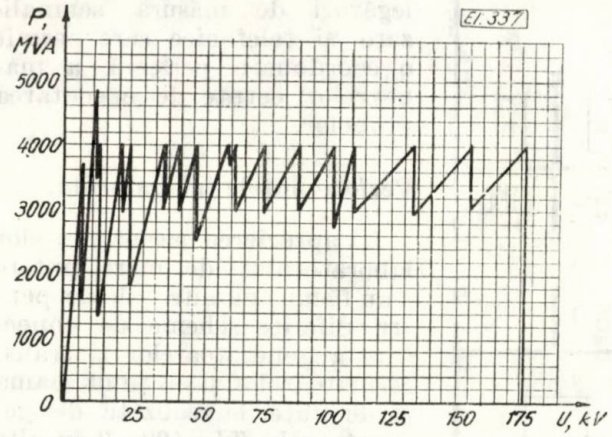


Fig. 8. Reprezentarea grafică a puterii de scurtcircuit trifazic a instalaţiei LMP—UEPC în funcţie de tensiunea de încercare.

Schema directă astfel concepută urmează să fie extinsă în etapa următoare cu o schemă sintetică, realizînd pe viitor cel puţin o dublare a performanţelor actuale.

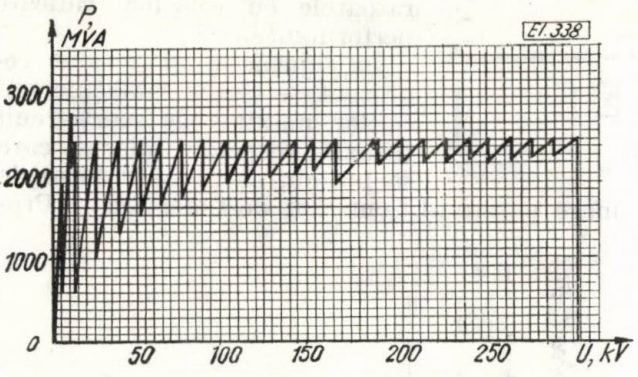


Fig. 9. Reprezentarea grafică a puterii de scurtcircuit bifazic a instalaţiei LMP—UEPC în funcţie de tensiunea de încercare.

Bibliografie

[1] *Hochreiner, A.* Hochleistungsgeversuchsfelder, În: ETZ—A Vol. **83**, Nr. 5, 1962, pag. 139—146.

[2] *Hochreiner, A.* Zehn Jahre Hochspannung Institut der AEG in Kassel. În: AEG Mitteilungen Vol. **52**, Nr. 7/8, 1962, p. 253—264.

[3] *Ctrstea, D., Mathe, B.* Baza experimentală din R.S.C., folosită la încercări şi cercetări experimentale în domeniul curenţilor tari, puterilor mari şi tensiunilor înalte. În: Lucrările IDT nr. 53/920, 1966.

[4] *Novotny, V., Smajler, M.A.* L'equipement techniques de la station nationale d'esseis en court-circuit a grade puissence de Bechovice. În: L'industrie lourde Tchecoslovaque, nr. 5, 1957.

[5] *Kaplan, V.V., Naşatîr, M,V.* Colebatelnîi contur dlia ispitaniia aparatov visocovo napriajenîia. În: Energija, Leningrad, Moscova, 1960.

[6] * * * The ASEA high-power laboratory at Ludvika, 1960, p. 3—50.

[7] *Mury, E.M., Lavant, M., Vigreux, J.* Le CERDA' Centre d'Essais et de Recherches Dalle-Altsthom. În: Revue Générale de l'Electricité, martie 1960, p. 135—173

[8] * * * 50 Jahre Hochspannungsinstitut der AEG. În: AEG Mitteilungen. nr. 7/8, 1962, p. 253—375.

[9] *Slameka, E., Arnold, E.* Des neue Hochleistungs-und Prüffeld im Schaltwerk der Siemens-Schuckert-Werke A.G. În: Siemens Zeitschrift, ianuarie 1962, nr. 1 p. 3—13.

[10] *Maclane, G.L., Vansickle, R.C., Kilgore, L.A.* Expantion of a high-power Switehgear testing laboratory. În: Electrical Engineering, august 1963, p. 524—528.

[11] *Panek, J., Novotny, V.* Errichtung eines Laboratoriums für indirekte, Prüfungen von Hochspannungsschaltern. In: Die Schwerindustrie der Tschechoslowakei, nr.1, 1964, p. 5—13.

[12] *Schneider, K., Frischmann, W.* Die Notwendigkeit der Schaffung von Hochleitungsprüffeldern und des neue Hochleistungsprüffeld der DDP. In: Electrie, vol. **18**, nr. 9, sept. 1964, p. 258—267.

[13] * * * New high power laboratory. In: Tokyo Shibaura Electrico Hamekawaseki Works, 1965.

[14] * * *.Short-Circuit Testing Station at Hamakswasaki Works, 1965.

[15] * * * Description of high voltage power Takeyama laboratory.

[16] *Slamecka, E.* Die synthetische Prüfund des Ausschaltwermögens von Hochspannungs Leistungsschaltern. In: Elektrie nr. 9, 1965, p. 353—358.

[17] *Slamecka, E.* Prüfung von Hochspannungsleistungsschaltern Springer Verlag, Berlin-New-York, 1966.

[18] *Kaplan, V.V., Naşatîr, M.,V.* Komutationnie ispîtaniia visokovoltnîh aparatov. Ed. Energhiia, Leningrad, 1969.

[19] *Silin, N.V.* Naucino—isledovatelskii ţentr po ispîtaniu visocovoltnoi aparaturî. În: Elektricestvo nr. 9, 1967, p. 1—10.

[20] * * * Notre station d'essai à grande puissance. În Revue Brown Boveri nr. 12, 1968, p. 680—744.

[21] * * * Station d'essais a grande puissance. Ed. CHARLEROI-JEUMONT.

[22] * * * Station d'essais a grade puissance et laboratoires des recherches. Merlin-Gerin. În: Marger Magazine nr. 42, p. 3—37.

[23] *Fedcenko, K.I.* Tehnika vîsokih napriajenii. Kiev, 1969.

[24] *Hortopan, G.* Aparate Electrice, Bucureşti Ed. Didactică şi Pedagogică, 1967.

[25] *Ctrstea, D., Mathe, B. ,Rarinca, O.* Scheme de încercare directe şi sintetice la putere de rupere pentru aparataj de comutaţie. Problema HP 15.7, Electroputere—Craiova, 1967.

[26] *Ctrstea, D., Curelaru A.*, ş.a. Schema de încercări directe şi sintetice la putere de rupere pentru aparataj de comutaţie. Probleme P.15.7.1., Electroputere, 1968.

[27] *Marinescu, I.* Scheme sintetice pentru verificarea capacităţii de comutaţie a întreruptoarelor în domeniul curenţilor intenşi În: Electrotehnica, nr. 5, 1970, p. 166—175.

[28] *Postnikov, I.M.* Polucenie maximalnîh velicin elektrokineticeskoi energhii. In: Trudî LPI, nr. 2, 1937.

[29] *Postnikov, I.M.* O proiectirovanii udarnovo generatora. În Trudî LPI nr. 209, 1960, p. 89—98.

[30] *Stanciu, V.* Der Synchrongenerator als Prüfquelle in Hochleistungsversuchs und Prüffeld. În: Lucrările ICPE, nr. 22, 1969, p. 57—70.

[31] *Schnetzler, A.* Les alternateurs de comutcircuit. În: Bull. Oerlikon. nr. 305, 1954, p. 69—72.

[32] *Hagedorn, G.* Der neue Stosskurzschlussgenerator der AFG. În: AEG Mitteilungen. Vol. 52, nr. 7/8, sept. 1962, p. 279—283.

[33] *Tittel, J.* Der neue 4300 MVA Stossleistungsgenerator für die Scheltwerke der Siemens Schuckertwerke. În: Siemens Zeitschrift Vol. 36, nr. 8, aug. 1962, p. 569—575.

[34] *Tittel, I.* Die Entwicklung der Stossleistungsgeneratoren im Hause Siemens. În: Electrotechnik und Maschinenbau, nr. 1, 1968, p. 1–8.

[35] *Kilbourne, C.E.* New Large short-circuit Testing Generators. În: AIEE Transactions, october 1952, p. 829–837.

[36] *Edlinger, A.* Transformatoren und Drosselspulen für Hochleistungsversuchsanlagen. Transformatoren. În: Brown Boveri Sonderheft nr. 3220, D III 2 (3,66), pag. 58–66.

[37] *Rarinca, O.* Bobine de reactanță modul pentru laboratorul de mare putere de la UEPC. În: Comunicări tehnice-Electroputere, nr. 5, 1969, pag. 301–307.

Intrat în redacție la 17. VIII 1972

Folosirea calculatorului analogic la studierea condițiilor de instabilitate a unui arc electric descris de ecuația lui Cassie și Mason

MIMI SASU* — București

CZ 621.3.014.31:621.316.57.064.3:681.14

1. Considerații teoretice

În principiu, orice gaz (sau ori ce fel de vapori) poate deveni conductor electric, dacă este încălzit la o temperatură suficient de înaltă. După răcire el va deveni din nou un izolator relativ bun. Această proprietate a gazelor și vaporilor de basculare între starea de izolator și cea de conductor este utilizată în dispozitivele de întrerupere. Sub aspect fizic, procesul de întrerupere a curentului într-un circuit electric reprezintă un proces al schimbării plasmei conductoare a arcului de întrerupere într-un gaz izolant.

În mod obișnuit, arcul electric este divizat în trei părți: regiunea catodică, coloana sau plasma arcului și regiunea anodică. Arcurile electrice care apar în circuitele de înaltă tensiune pot fi împărțite în arcuri lungi, în care fenomenele din coloana arcului joacă un rol primordial și arcuri scurte, în care rolul principal îl dețin fenomenele de la electrozi. În cazul întreruptoarelor de înaltă tensiune, căderile de tensiune la electrozi sînt în general neglijabile în comparație cu căderea de tensiune în coloana arcului.

Pentru a asigura continuitatea curentului prin arc, coloana arcului trebuie să furnizeze și să mențină purtătorii de sarcină necesari, ceea ce se realizează prin ionizarea termică a gazului. Aplicînd calculele termodinamicii la fenomenul de ionizare termică, fizicianul indian Saha a stabilit o formulă care-i poartă numele și care dă legătura dintre gradul de ionizare a gazului și temperatura absolută [1]:

$$\frac{x^2 h}{1-x^2} = (2\pi m)^{3/2} k^{5/2} T^{5/2} \exp.\left(-\frac{e U_i}{k T}\right). \qquad (1)$$

Semnificația termenilor din relația (1), ca și din relațiile următoare, este prezentată în tabela notațiilor.

* Ing. *Mimi Sasu* este cercetător științific principal la Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.), București.

Întrucît în toate cazurile de ionizare termică $x \ll 1$, relația (1) se poate scrie sub forma simplificată:

$$x^2 h = K_0 T^{5/2} \exp.\left(-\frac{e U_i}{k T}\right). \qquad (2)$$

Ecuația lui Saha presupune că plasma se află într-un echilibru termic, respectiv, temperaturile gazului electronic, ionic și neutru sînt egale:

$$T_e = T_i = T_g. \qquad (3)$$

Considerînd coloana arcului electric (de înaltă presiune) ca fiind într-un echilibru termodinamic local, rezultă că în plasma arcului trebuie să existe un bilanț energetic. Aceasta înseamnă că energia care este disipată prin efect Joule trebuie să fie egală cu energia transferată mediului înconjurător prin diferite procese de transfer de căldură: radiație, convecție și conducție [2].

Datorită temperaturilor extrem de înalte din plasma arcului, care pot merge pînă la cîteva zeci de mii de grade Kelvin, calculul celor trei tipuri de pierderi nu se poate face prin metodele clasice. Așa de pildă, deoarece radiația coloanei de arc depinde de tipul gazului, de presiunea lui și de mulți alți parametri, calculul pierderilor datorită radiației nu se face cu ajutorul legilor lui Ștefan-Boltzmann. În interiorul coloanei de arc există nu numai atomi și molecule ionizate, ci și un număr ridicat de atomi și molecule excitate. Aceasta face ca o mare parte a pierderilor de energie să apară sub formă de linii spectrale, la care se adaugă pierderile sub formă de spectru continuu ca rezultat al accelerării și decelării electronilor [3]. De asemenea, dată fiind natura complexă a fenomenelor care se petrec în plasma arcului, calculul pierderilor prin convecție se poate face numai în anumite cazuri particulare [4].

În ceea ce privește pierderile prin conducție, acestea s-au bucurat de o mare atenție din

partea fizicienilor arcului electric. Se poate arăta că în anumite ipoteze simplificatoare [5] ecuaţia de bilanţ energetic a arcului se reduce la ecuaţia diferenţială a conducţiei căldurii. Scriind ecuaţia lui Fourier în regim staţionar, se obţine o ecuaţie de tip Poisson pentru putere :

$$p = -\operatorname{div}(X \operatorname{grad} T). \tag{4}$$

Se poate demonstra că în anumite condiţii pentru coloane cilindrice ecuaţia (4) devine :

$$p = -\frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}}{dr}\left(rX\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}\right). \tag{5}$$

Deoarece coloana arcului se comportă ca un conductor electric normal, puterea p dezvoltată în unitatea de volum se obţine din forma locală a legii transformării energiei în conductoare :

$$p = \sigma E^2. \tag{6}$$

Înlocuind relaţia (6) în (5), ecuaţia de bilanţ energetic a arcului capătă forma :

$$\sigma E^2 = -\frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\left(rX\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}\right). \tag{7}$$

Conform acestei ecuaţii, cunoscută sub numele de ecuaţia lui Elenbaas-Heller, căldura generată în arc prin efect Joule este egală cu transferul de căldură, prin conductibilitate termică, mediului înconjurător. Ecuaţia (7) permite, în principiu, să se calculeze gradientul de temperatură radial în interiorul coloanei arcului.

Evident că pentru rezolvarea unei ecuaţii diferenţiale de acest tip este necesar să se cunoască condiţiile de margine. De asemenea, trebuie să se ţină seamă de faptul că în cazul în care cîmpul electric este constant, σ şi $\varkappa$ sînt funcţii neliniare de temperatura T. Din această cauză rezolvarea ecuaţiei Elenbaas-Heller este destul de complicată şi sînt necesare o serie de aproximaţii care să permită găsirea soluţiei ecuaţiei (7) în diferite cazuri particulare [6—10].

De fapt, datorită interacţiunii dintre diferitele mecanisme de transfer de căldură de la coloana arcului spre mediul exterior, ecuaţiile care descriu în mod independent pierderile prin radiaţie, convecţie şi conducţie ar trebui cuplate împreună. Astfel, dacă alături de pierderile prin conducţie se consideră şi pierderile prin radiaţie, ecuaţia lui Elenbaas-Heller capătă forma :

$$\sigma E^2 = -\frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\left(r\varkappa\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}\right) + P_r(T). \tag{8}$$

În anumite condiţii, şi această ecuaţie poate fi rezolvată [11].

Lucrurile se complică însă extrem de mult dacă se ţine seamă simultan şi de pierderile prin convecţie. Se ajunge, astfel, la o ecuaţie foarte complicată, a cărei rezolvare este legată de dificultăţi deosebite [12]. Din această cauză, cele mai multe studii asupra mecanismelor de pierdere a căldurii dezvoltate în arc au fost efectuate pentru arcuri în care numai unul sau două mecanisme sînt dominate.

O primă încercare de analiză a pierderilor prin convecţie în cazul unei convecţii forţate, a fost făcută în anul 1939 de către Cassie [13]. El formulează o ecuaţie a arcului electric de întrerupere, în care constanta de timp a arcului este funcţie de puterea pierdută prin convecţie.

Cîţiva ani mai tîrziu, Mayr [14], [15] reia ipotezele teoretice formulate de fizicieni, conform cărora transportul de energie de la centrul coloanei arcului (unde sînt cele mai mari temperaturi) spre exterior, datorită gradientului de temperatură radial, depinde numai de conducţie şi radiaţie. Mayr face anumite presupuneri care-i permit să stabilească o ecuaţie a arcului electric ce ia în consideraţie numai pierderile prin conducţie radială.

Analizînd comparativ modelele idealizate ale coloanei arcului propuse de Cassie şi Mayr şi bazîndu-se pe anumite rezultate experimentale, Browne [16], [17] formulează ipoteza că pînă în vecinătatea trecerii prin zero a curentului întrerupt, respectiv la curenţi mari, predomină pierderile prin convecţie, în timp ce în regiunea trecerii curentului prin zero şi imediat după acest moment, deci la curenţi mici, sînt predominante pierderile prin conducţie. Bazat pe aceste observaţii, Browne propune un model mixt al arcului care utilizează modelul lui Cassie pentru perioada dinaintea trecerii prin zero a curentului şi modelul lui Mayr după această trecere.

Spre deosebire de Browne care consideră că pierderile prin convecţie şi prin conducţie ale coloanei arcului au loc deci consecutiv, Cassie şi Mason [18] presupun că cele două procese de evacuare a energiei introduse în arc se petrec simultan. Aceasta le permite să formuleze o nouă ecuaţie a arcului electric de întrerupere, în care apar doi termeni : unul corespunzător pierderilor prin convecţie, ca în ecuaţia lui Cassie şi altul corespunzător pierderilor prin conducţie, ca în ecuaţia lui Mayr.

2. Ecuaţia arcului electric în formularea lui Casssie şi Mason

După cum se ştie, stingerea unui arc de curent alternativ are loc la o trecere prin zero a curentului. Cu puţin timp înaintea trecerii prin zero, valorile instantanee ale curentului sînt atît de mici, chiar la întreruptoarele de mare putere, încît în intervalul de deconectare nu se găseşte decît un volum mic de plasmă. Aşa

cum rezultă din teroria arcului dinamic, dezvoltată de Cassie [13], Mayr [14], [15] şi Browne [16], [17], rezistenţa coloanei de arc la trecerea prin zero a curentului este cu atît mai mare cu cît constanta de timp termică a arcului este mai mică. În mod obişnuit, ea se notează cu υ şi este determinată de conţinutul de energie a coloanei de arc precum şi de viteza de pierdere a energiei din coloana arcului în mediul ambiant.

Presupunînd că pierderea de energie se face în principal prin fenomene de convecţie, Cassie [13] a stabilit o ecuaţie a arcului electric dinamic, ce poate fi pusă sub forma:

$$-\frac{\mathrm{d}\ln R}{\mathrm{d}t}=\frac{1}{\vartheta}\left[\left(\frac{u}{U_0}\right)^2-1\right], \tag{9}$$

în care, constanta de timp a arcului este dată de relaţia:

$$\vartheta=\frac{q}{\lambda}. \tag{10}$$

Pornind de la ipoteza că pierderea de căldură din coloana de arc are loc datorită conducţiei termice, Mayr [14] formulează ecuaţia:

$$-\frac{\mathrm{d}\ln R}{\mathrm{d}t}=\frac{1}{\vartheta}\left(\frac{u\,i}{P_0}-1\right), \tag{11}$$

unde, constanta de timp:

$$\vartheta=\frac{Q_0}{P_0}. \tag{12}$$

În general, atît ecuaţiile statice, cît şi ecuaţiile dinamice propuse de Cassie şi de Mayr, care conduc la expresii diferite pentru constantele de timp ale arcului, sînt valabile în condiţii oarecum speciale. În urma experienţelor efectuate asupra întreruptoarelor cu aer comprimat, Cassie şi Mason [18] au ajuns la concluzia că, în cazul acestor întreruptoare pierderile de energie se produc atît prin convecţie, cît şi prin conducţie. În lucrarea citată, se arată foarte succint modul cum trebuie să fie modificate ecuaţiile lui Cassie şi Mayr, atunci cînd cele două tipuri de pierderi se prezintă simultan. Se ajunge în cele din urmă la o ecuaţie diferenţială neliniară care poate fi scrisă sub forma [19]:

$$-\frac{\mathrm{d}\ln R}{\mathrm{d}t}=\frac{k_0}{r^2}\left[\left(u\,i-\frac{U_0^2}{R}\right)-P_0\right]. \tag{13}$$

Datorită convecţiei se produce o contracţie continuă a diametrului coloanei de arc. Această contracţie exercită o influenţă importantă asupra mărimii Q_0, care se va micşora sensibil în vecinătatea trecerii prin zero a curentului. Ca urmare, deşi puterea P_0 pierdută prin conducţie se presupune că rămîne aproximativ constantă în perioada zeroului curentului, constanta de timp a arcului definită de relaţia (12) se va micşora foarte mult în această zonă, în comparaţie cu constantele de timp ale unui arc arzînd liber în aer [18], [20].

3. Relaţiile de calcul şi modelarea lor

Pentru a analiza modul cum se comportă un arc electric cu reacţie, descris de ecuaţia lui Cassie şi Mason, într-o cercetare anterioară [21] autorul a cuplat ecuaţia arcului cu ecuaţiile diferenţiale ale unui circuit electric de curent alternativ şi a rezolvat sistemul de ecuaţii obţinut, pe un calculator analogic. În urma studiului efectuat într-o mare serie de variante s-au stabilit anumite condiţii, în care se ajunge fie la o reaprindere a arcului, fie la stingerea sa definitivă.

În această lucrare se prezintă un caz particular al stingerii unui arc de întrerupere modelat pe baza ecuaţiei lui Cassie şi Mason şi se discută rezultatele obţinute în urma cercetării cu ajutorul calculatorului analogic a modului în care se face trecerea de la regimul de stingere la regimul de reaprindere a arcului, în interacţiune cu circuitul întrerupt.

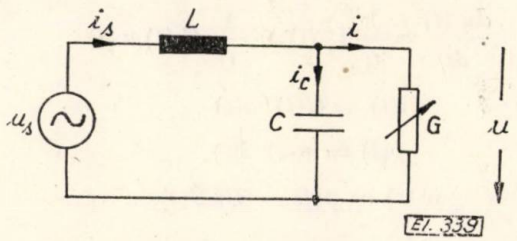


Fig. 1. Schema echivalentă de întrerupre a unui arc electric de curent alternativ.

În vederea simulării cît mai exacte a condiţiilor reale în care funcţionează un întreruptor într-o reţea electrică, circuitele de încercare ale întreruptoarelor de înaltă tensiune se presupun, în mod obişnuit, a fi inductive. În figura 1 este reprezentată schema echivalentă a unui astfel de circuit. Dacă se aplică teoremele lui Kirchhoff circuitului din figura 1, în care întreruptorul a fost reprezentat schematic printr-o conductanţă variabilă $G(t)$, se obţin ecuaţiile:

$$L\frac{di_s}{dt}+u=u_s, \tag{14}$$

$$i_s=i_c+i, \tag{15}$$

unde:

$$i_c=C\frac{du}{dt};\quad i=Gu, \tag{16}$$

şi

$$u_s = \sqrt{2}\ U \cos \omega t = \hat{U} \cos \omega t. \quad (17)$$

Circuitul fiind inductiv, între curentul i_s şi tensiunea u_s există un defazaj de $\pi/2$. La trecerea curentului prin zero, tensiunea sursei va avea valoarea ei maximă $u_s = \hat{U}$. Se poate presupune că în zona din vecinătatea zeroului curentului întrerupt, tensiunea sursei rămîne constantă şi egală cu valoarea de vîrf.

La aceste ecuaţii ale circuitului se asociază ecuaţia arcului electric a lui Cassie şi Mason. Pentru a evita operaţia de împărţire inclusă în ecuaţia (13), a cărei rezolvare pe calculator este legată de o serie de inconveniente, ecuaţia arcului a fost scrisă, din nou, în funcţie de conductanţa $G(t) = \dfrac{1}{R(t)}$. Introducînd şi cîteva relaţii de legătură, pentru a obţine variaţiile în timp ale diferitelor mărimi, ce intervin în ecuaţiile de bază, se obţine în cele din urmă sistemul de ecuaţii:

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d} \ln G(t)}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{k_0}{r^2} P_0 + \dfrac{k_0}{r^2}[u(t)i(t) - U_0^2 G(t)] \\ \dfrac{dG(t)}{dt} = G(t) \dfrac{\mathrm{d}\ln G(t)}{dt} \\ \dfrac{di_s(t)}{dt} = \dfrac{\hat{U}}{L} - \dfrac{1}{L} u(t). \\ \dfrac{du(t)}{dt} = \dfrac{1}{C} i_s(t) - \dfrac{1}{C} G(t)\, u(t) \\ i(t) = G(t)\ u(t) \\ p(t) = u(t)\ i(t) \\ w(t) = p(t) - U_0^2 G(t). \end{cases} \quad (18)$$

cu următoarele condiţii iniţiale:

$$G(t_0+) = G_0;\ i_s(t_0+) = 0;\ u(t_0+) = 0. \quad (19)$$

Sistemul de ecuaţii (18) constituie modelul matematic de bază. În vederea programării lui pe calculatorul analogic, s-au utilizat mărimile normate, menţionate în tabela 1 şi s-au introdus notaţiile [21]:

Tabela 1

Corespondenţa între variabilele reale şi variabilele calculatorului

τ	$\overline{G}$	$\overline{u}$	$\overline{i}_s$	$\overline{i}$	$\overline{p}$	$\overline{w}$
$\dfrac{t}{\sqrt{LC}}$	$G\sqrt{\dfrac{L}{C}}$	$\dfrac{u}{\hat{U}}$	$\dfrac{i_s}{\hat{U}\sqrt{L/C}}$	$\dfrac{i}{\hat{U}\sqrt{L/C}}$	$\dfrac{p}{\hat{U}^2\sqrt{L/C}}$	$w\sqrt{LC}\,\dfrac{k_0}{r^2}$

$$a = \frac{k_0}{r^2} P_0 \sqrt{LC};\ b = \frac{k_0}{r^2} C\hat{U}^2;\ c = \frac{k_0}{r^2} C U_0^2. \quad (20)$$

S-a obţinut, astfel, modelul matematic pentru calculator sub forma unui sistem de ecuaţii adimensional:

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d} \ln \overline{G}(\tau)}{d\tau} = -a + b\,\overline{u}(\tau)\,\overline{i}(\tau) - c\,\overline{G}(\tau) \\ \dfrac{d\overline{G}(\tau)}{d\tau} = \overline{G}(\tau) \dfrac{\mathrm{d}\ln \overline{G}(\tau)}{d\tau} \\ \dfrac{d\overline{i}_s(\tau)}{d\tau} = 1 - \overline{u}(\sigma) \\ \dfrac{d\overline{u}(\tau)}{d\tau} = \overline{i}(\tau) - \overline{G}(\tau)\ \overline{u}(\tau) \\ \overline{i}(\tau) = \overline{G}(\tau)\ \overline{u}(\tau) \\ \overline{p}(\tau) = \overline{u}(\tau)\ \overline{i}(\tau) \\ \overline{w}(\tau) = b\,\overline{p}(\tau) - c\,\overline{G}(\tau), \end{cases} \quad (21)$$

condiţiile iniţiale în mărimi normate fiind:

$$\overline{G}(\sigma_0+) = \overline{G}_0;\ \overline{i}_s(\tau_0+) = 0;\ \overline{u}(\tau_0+) = 0 \quad (22)$$

În figura 2 s-a reprezentat schema de modelare corespunzătoare sistemului de ecuaţii (21.) Pe baza ei se pot obţine variaţiile (în funcţie de timpul normat τ) conductanţei $\overline{G}(\tau)$, tensiunii

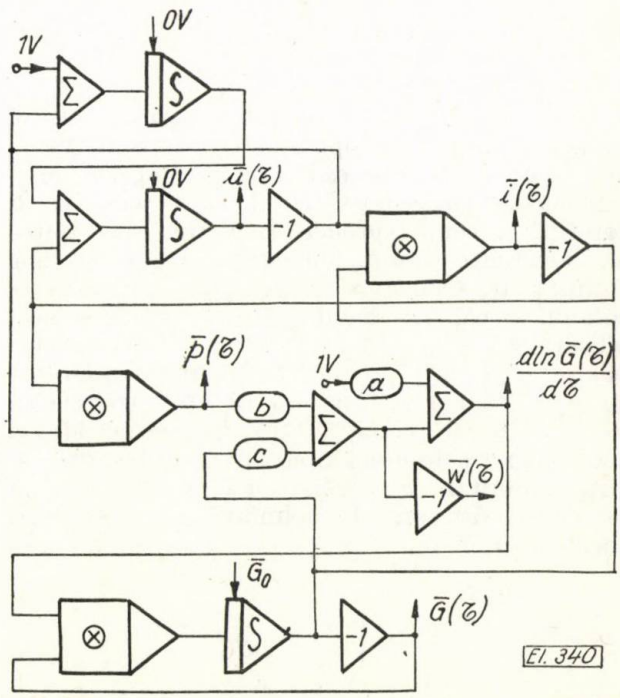


Fig. 2. Schema de modelare a unui arc electric descris prin ecuaţia lui Cassie şi Mason.

$\bar{u}(\tau)$ şi curentul de arc $\bar{i}(\tau)$, ale puterii dezvoltate în arc $\bar{p}(\tau)$, precum şi ale mărimilor de calcul $\overline{w}(\tau)$ şi $\frac{\mathrm{d}\ln \bar{G}(\tau)}{\mathrm{d}\tau}$ pentru diferite valori ale parametrilor adimensionali a, b şi c. Conform relaţiilor (20), constantele a, b şi c sînt determinate atît de parametrii arcului r, P_0 şi U_0, cît şi de parametrii circuitului L, C şi $\hat{U}$.

4. Condiţiile de lucru şi rezultatele obţinute

Modelul matematic (21) a fost transpus pe un calculator analogic MEDA 81 T. Calculatorul fiind transzistorizat, unitatea lui este de ± 10V. Pentru a avea un punct de plecare comun, în toate variantele de calcul rezolvate pe calculator, s-a considerat aceeaşi condiţie iniţială pentru conductanţa arcului şi anume, în valori normate, $G_0 = 20$. De aceea, pentru a nu depăşi domeniul de lucru al calculatorului MEDA, s-a efectuat o transformare a scării de amplitudine a conductanţei normate $\bar{G}(\tau)$. De asemenea, din cauza vitezelor foarte mari de variaţie în timp a conductanţei arcului, după trecerea curentului prin zero, a fost necesară o dilatare de 10 ori a timpului normat τ, din modelul matematic (21).

Pentru efectuarea celor trei produse indicate în sistemul de ecuaţii (21) s-a utilizat un servomultiplicator SENAS 2/10, deoarece s-a constatat că blocurile speciale de multiplicare ale calculatotului analogic MEDA introduceau erori foarte mari la realizarea produsului $\bar{i}(\tau) = \bar{G}(\tau)\bar{u}(\tau)$. Aşa cum se va vedea mai departe, din înregistrările prezentate, în cazul stingerii arcului electric, $\bar{G}(\tau)$ este o funcţie tare monotonă, de pantă negativă. Din această cauză, punctul de funcţionare a blocului de multiplicare al calculatorului se află în permanenţă în zona erorilor mari după cum s-a stabilit pe baza curbelor de eroare a multiplicatorului, ridicate în laborator.

4.1. Un caz particular de stingere a arcului. Dacă se compară relaţiile (20), de definiţie a parametrilor b şi c se constată că ele diferă numai printr-un singur termen. Aşa de pildă, cazul $c=b$ echivalează cu presupunerea $U_0=\hat{U}$, respectiv cu faptul că, tensiunea de ardere a arcului în regim staţionar este egală cu valoarea de vîrf a tensiunii alternative aplicate circuitului de încercare. S-au analizat cîteva astfel de cazuri de stingere definitivă a arcului electric, care satisfăceau condiţia

$$c = b \leqslant a. \tag{23}$$

Pentru exemplificare, în figurile 3—7 se prezintă un set de înregistrări, obţinute cu ajutorul calculatorului analogic, în condiţiile în care „a" este constant iar „b" şi „c" iau diferite valori, în limitele admise de relaţia (23).

Dacă se compară, sub aspect calitativ, caracteristicile din figurile 3—6 cu caracteristicile similare, prezentate în figurile 8—11 cazurile

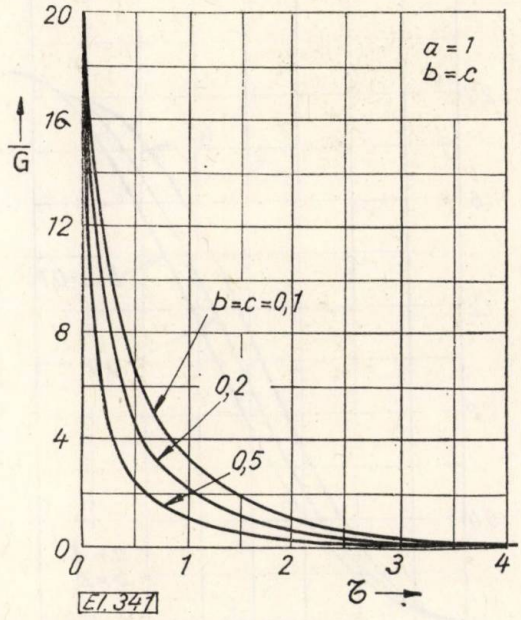


Fig. 3. Variaţia în timp a conductanţei arcului electric în cazul stingerii.

B (a; c= constante, b = variabil) şi C (a; b = constante; c = variabil) din lucrarea [21] se constată că modul de variaţie a celor patru familii de caracteristici $\bar{G}(\tau)$, $\bar{u}(\tau)$, $\bar{i}(\tau)$ şi $\bar{p}(\tau)$, imediat după zeroul curentului este foarte asemănător celui din cazul C. Aceasta arată că, atunci cînd parametrii „b" şi „c" variază simultan şi în aceeaşi măsură, procesul de stingere a arcului va fi influenţat, în deosebi, de către parametrul „c".

Din înregistrările redate în figura 3 se vede că, odată cu creşterea parametrilor „b" şi „c", creşte şi panta caracteristicilor $\bar{G}(\tau)$ pe prima parte a intervalului post-zero. Acelaşi lucru se poate spune şi referitor la caracteristicile de variaţie, în funcţie de timp, ale tensiunii de restabilire din figura 4, cu diferenţa că în acest caz panta curbelor $\bar{u}(\tau)$ este pozitivă. În fine, din înregistrările, prezentate în figura 5, se vede că se obţin curenţi post-arc cu atît mai mici cu cît parametrii „b" şi „c" au valori mai mari.

Dacă se presupune într-o primă aproximaţie că raza arcului nu variază şi că elementele L şi C ale circuitului de încercare sînt constante, ipoteza că parametrul a=constant echivalează cu presupunerea că, puterea evacuată de arc prin convecţie P_0 este constantă. În aceste condiţii, din caracteristicile $G(\tau)$, $u(\tau)$ şi $i(\tau)$, prezentate, rezultă că deconectarea circuitului va fi cu atît mai rapidă cu cît parametrul $c = b$ va avea valori mai mari, deci, cu cît puterea disipată de arc prin convecţie, care poate fi

considerată proporţională cu tensiunea de ardere U_0, va fi mai mare.

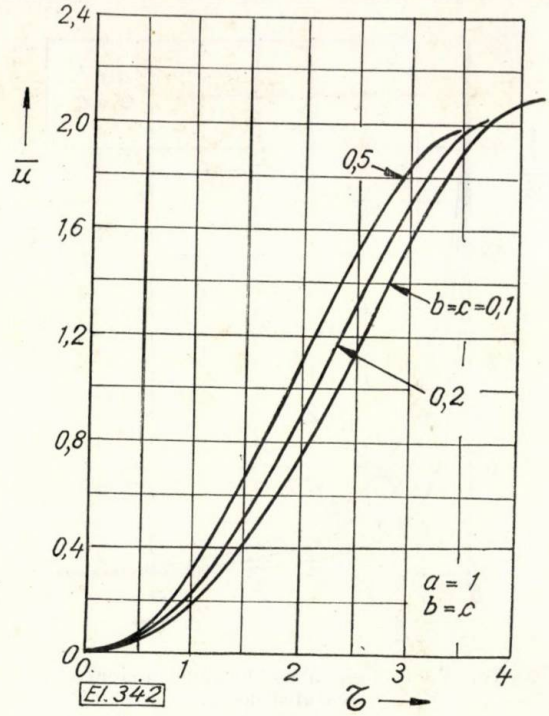


Fig. 4. Variaţia cu timpul a tensiunii de arc, în cazul stingerii.

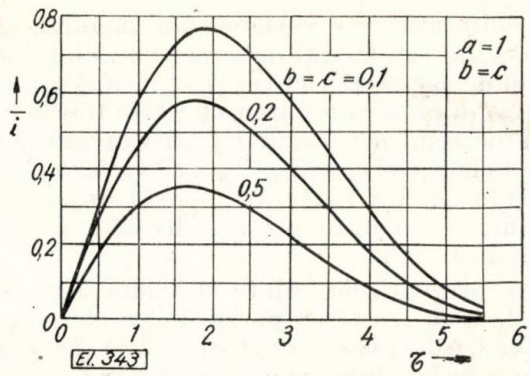


Fig. 5. Variaţia în timp a curentului de arc, în cazul stingerii.

În figura 6 (este reprezentată o familie de caracteristii $\bar{p}(\tau)$. Se poate vedea cu uşurinţă că alura de variaţie în timp a puterii dezvoltate în arc depinde într-o mare măsură de alura

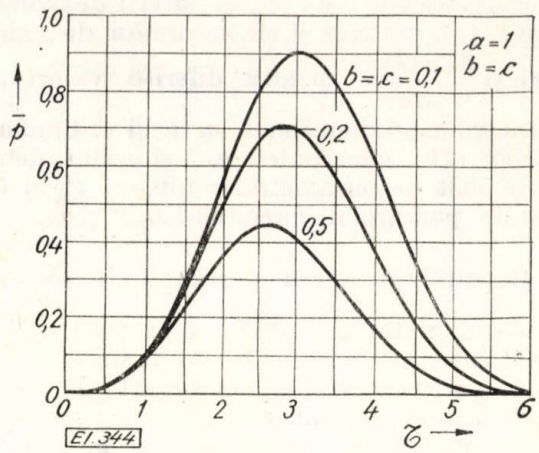


Fig. 6. Variaţia cu timpul a puterii dezvoltate în arc, în cazul stingerii.

curenţilor post-arc corespunzători. În fine, în figura 7 se prezintă comparativ înregistrările mărimilor $\bar{w}$ şi $\frac{d \ln \bar{G}}{d\tau}$, în funcţie de τ.

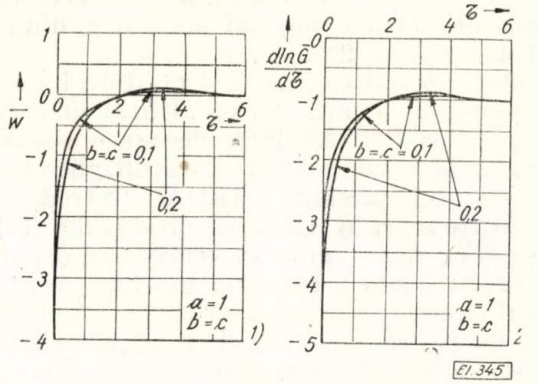


Fig. 7. Caracteristicile de variaţie a mărimilor $\bar{w}$ şi $\frac{d \ln \bar{G}}{d\tau}$, în funcţie de timp, în cazul stingerii.

4.2. Influenţa parametrului „c" asupra deconectării circuitului. În vederea studierii regimului de tranziţie de la stingerea la reaprinderea unui arc electric, descris de ecuaţia lui Cassie şi Mason, s-au considerat datele de calcul din tabela 2. Dintre cele 25 de variante de calcul,

Tabela 2

Trecerea de la stingere la reaprinderea arcului

a	0,5					1									
b	0,5					0,75					1				
c	0	0,05	0,10	0,20	0,40	0	0,05	0,10	0,20	0,40	0	0,05	0,10	0,20	0,40
a	1,5														
b	2										2,5				
c	0		0,05		0,10		0,25		0,50		0	0,05	0,10	0,25	0,50

în care s-a rezolvat sistemul de ecuații (21), se prezintă aici cîteva din soluțiile obținute în condițiile „a" și „b" constante, iar „c" variabil.

Dacă se fac aceleași ipoteze, ca și în paragraful precedent, referitor la raza r a arcului și la elementele L și C ale circuitului, se poate con-

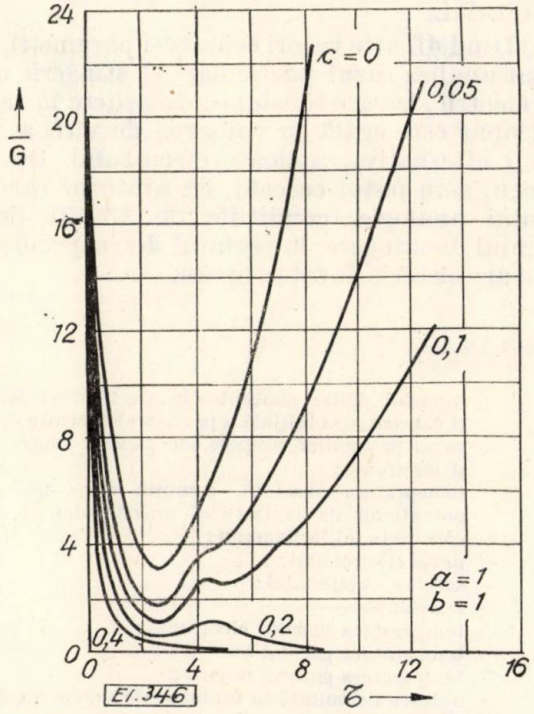


Fig. 8. Variația cu timpul a conductanței arcului electric, în cazul trecerii de la stingere la reaprindere.

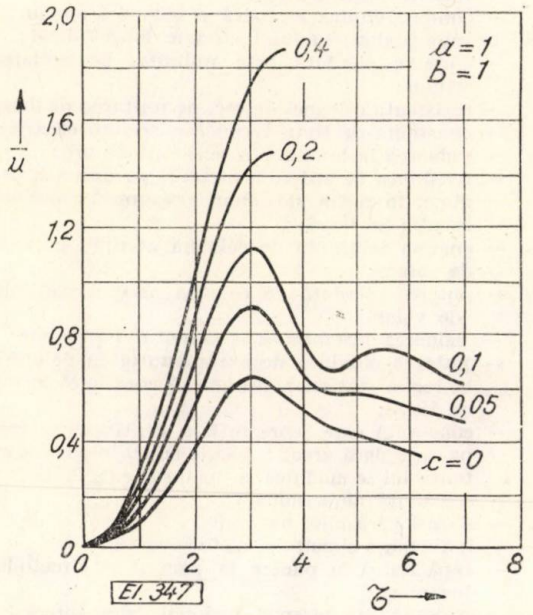


Fig. 9. Variația în timp a tensiunii de arc, în cazul trecerii de la stingere la reaprindere.

sidera că înregistrările redate în figurile 8—12 corespund unei situații, în care atît tensiunea aplicată circuitului, cît și puterea cedată de arc prin conducție radială sînt constante. Singurul element variabil rămîne puterea cedată prin convecție, presupusă a fi proporțională cu tensiunea de ardere a arcului în regim staționar.

Din înregistrările conductanței. tensiunii și curentului de arc, în funcție de timp, din figurile 8, 9 și 10, se remarcă în primul rînd curbele co-

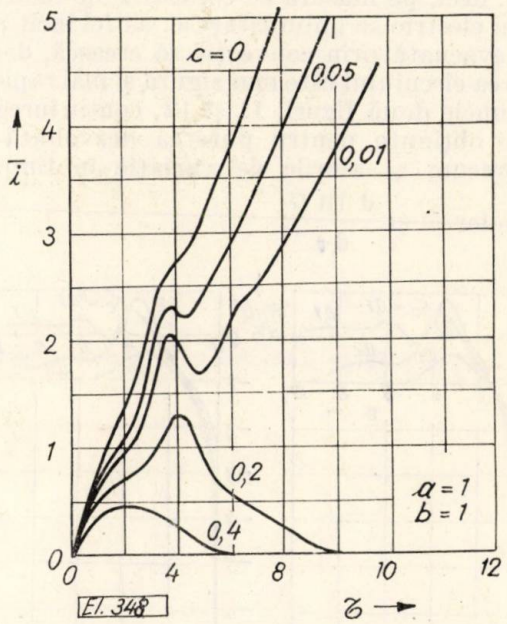


Fig. 10. Variația cu timpul a curentului de arc, în cazul trecerii de la stingere la reaprindere.

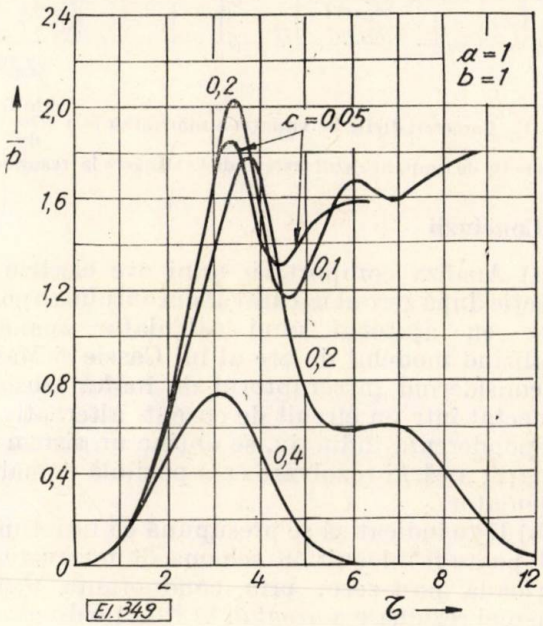


Fig. 11. Variația în timp a puterii dezvoltate în arc, în cazul trecerii de la stingere la reaprindere.

respunzătoare variantei $c=0$, în care are loc o reamorsare certă a arcului, și curbele corespunzătoare variantei $c=0{,}8$, în care se obține o stingere definitivă și rapidă. Între aceste două cazuri limită se găsesc celelalte trei variante

prezentate, dintre care mai interesante sînt variantele $c=0{,}2$ şi $c=0{,}4$, aflate de o parte şi de alta a „graniţei", care marchează schimbarea semnului bilanţului energetic în plasma reziduală a arcului.

Conform caracteristicilor $\overline{G}(\tau)$, $\overline{u}(\tau)$ şi $\overline{i}(\tau)$ prezentate, pe măsură ce parametrul „c" creşte, deci, pe măsură ce condiţiile de răcire a arcului electric se îmbunătăţesc, astfel încît puterea evacuată prin convecţie să crească, deconectarea circuiului este mai sigură şi mai rapidă.

Ultimele două figuri, 11 şi 12, conţin înregistrările obţinute pentru puterea dezvoltată în arc precum şi alurile de variaţie în timp a mărimilor $\overline{w}$ şi $\frac{\mathrm{d}\ln \overline{G}}{\mathrm{d}\tau}$.

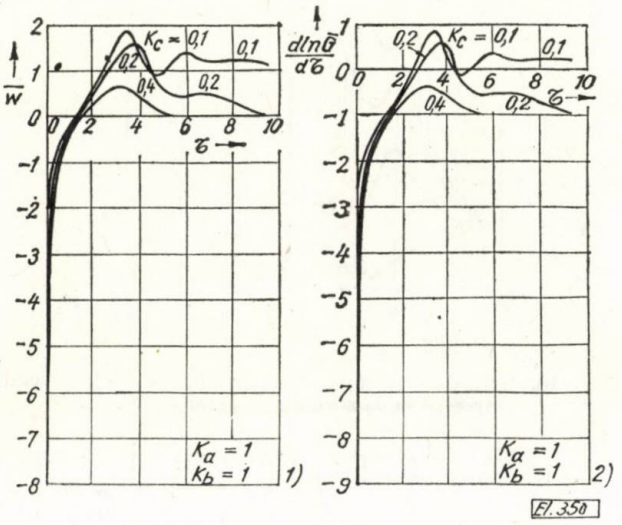


Fig. 12. Caracteristicile de variaţie a mărimilor $\overline{w}$ şi $\frac{\mathrm{d}\ln \overline{G}}{\mathrm{d}\tau}$, în funcţie de timp, în cazul trecerii de la stingere la reaprindere

5. Concluzii

a) Analiza comportării unui arc electric cu reacţie după zeroul natural al curentului se poate face cu ajutorul unui calculator analogic. Utilizînd modelul de arc al lui Cassie şi Mason şi considerînd întreruptorul de înaltă tensiune conectat într-un circuit de curent alternativ cu preponderenţă inductiv, se obţine un sistem de ecuaţii, a cărui rezolvare este posibilă numai pe calculator.

b) Este indicat să se presupună că întreruptorul poate fi înlocuit în schema de încercare, în perioada post-zero, prin conductanţa $G(t)$ a plasmei reziduale a arcului, în funcţie de care să se scrie toate ecuaţiile sistemului. În acest fel se evită operaţia de împărţire, inclusă în ecuaţia arcului electric, formulată de Cassie şi Mason precum şi în ecuaţia curentului prin arc, întrucît efectuarea împărţirii pe calculatorul analogic implică anumite restricţii.

c) Pentru transpunerea pe calculatorul analogic a modelului matematic de bază este indicată normarea lui, operaţie care prezintă avantajul de a permite studierea mai multor cazuri practice, pe baza unui singur exemplu de calcul. Scrierea sistemului de ecuaţii, format din ecuaţia arcului şi ecuaţiile circuitului, în mărimi normate, a condus la introducerea a trei parametri adimensionali, determinaţi de parametrii arcului şi ai circuitului.

d) Dînd diferite valori celor trei parametri, s-a putut analiza cazul particular al stingerii unui arc electric, la care tensiunea de ardere în regim staţionar este egală cu valoarea de vîrf a tensiunii alternative, aplicate circuitului. De asemenea, s-au putut cerceta, cu ajutorul calculatorului analogic, condiţiile de trecere de la regimul de stingere, la regimul de reaprindere a unui arc electric de întrerupere.

Notaţii folosite

x — raportul dintre concentraţia particulelor ionizate şi concentraţia iniţială a particulelor neutre de gaz;
h — suma presiunilor parţiale ale gazelor neutre, ionic şi electronic;
T — temepratura absolută, comună celor trei gaze;
U_i — potenţialul de ionizare a amestecului de gaze;
k — constanta lui Boltzmann;
m — masa electronului;
e — sarcina electronului;
K_0 — constantă;
T_e — temperatura gazului electronic;
T_i — temperatura gazului ionic;
T_0 — temperatura gazului neutru;
p — puterea dezvoltată în unitatea de volum a coloanei de arc;
$\varkappa$ — coeficientul de transmisie a căldurii prin conductibilitate termică.;
r — raza coloanei arcului;
τ — conductivitatea electrică a coloanei arcului;
E — intensitatea cîmpului electric longitudinal;
P_r — puterea pierdută prin radiaţie, pe unitatea de volum;
R — rezistenţa coloanei de arc, pe unitatea de lungime;
ϑ — constanta de timp termică a arcului electric;
u — valoarea instantanee a tensiunii de arc;
U_0 — tensiunea de ardere a arcului, pe unitatea de lungime, în regim staţionar, presupusă constantă în ecuaţia lui Cassie;
q — energia conţinută de coloana arcului, pe unitatea de volum;
λ — puterea pierdută de coloana arcului, pe unitatea de volum;
i — valoarea instantanee a curentului prin arc;
P_0 — puterea pierdută de arc, pe unitatea de lungime, în regim staţionar, presupusă constantă în ecuaţia lui Mayr;
Q_0 — constantă care reprezintă o cantitate de energie, pe care dacă arcul o pierde sau o cîştigă, conductanţa lui se modifică cu factorul $\varepsilon \cong 2{,}718$;
k_0 — constantă dimensională;
ε — baza logaritmilor naturali;
L — inductanţa circuitului de încercare;
C — capacitatea de punere la pămînt a circuitului de încercare;
G — conductanţa plasmei reziduale din intervalul de întrerupere;
i_s — curentul total prin circuitul de încercare;
i_c — curentul prin capacitatea echivalentă C;
u_s — valoarea instantanee a tensiunii alternative a sursei;
U — valoarea eficace a tensiunii alternative a sursei;
$\hat{U}$ — valoarea de vîrf a tensiunii alternatuve a sursei;

ω — pulsaţia tensiunii alternatibe a sursei;
w — mărime de calcul, reprezentînd diferenţa dintre puterea generată în arc şi puterea cedată, prin convenţie, mediului exterior;
t_0 — momentul ultimei treceri prin zero a curentului de scurtcircuit;
G_0 — valoarea conductanţei arcului la trecerea curentului prin zero;
a,b,c — parametri adimensionali

t, G, u, i_c, i, p, w, $\frac{d \ln G}{dt}$, t_0, G_0 — mărimi reale;

τ, $\overline{G}$, $\overline{u}$, $\overline{i}_s$, $\overline{i}$, $\overline{p}$, $\overline{w}$, $\frac{d \ln \overline{G}}{d\tau}$, τ_0, $\overline{G}_0$ — mărimi normate.

Bibliografie

[1] *Bădărău, E.*, Fizica descărcărilor în gaze. Ed. Academiei, Bucureşti, 1957, 301 p.
[2] *Hamburger, L.* Introducere în teoria propagării căldurii. Ed. Academiei, Bucureşti, 1956, 543 p.
[3] *Cassie, A. M.* The Physical Nature and Properties of Arcs. In: The Electrical Journal, London, 3 apr. 1959, p. 991—997.
[4] *Denenson, D. M.* A Study of the Effects of Convection upon an Electric Arc. In: AIEE Trans. Power App. Syst., part. III, **81**, febr. 1963, p. 956—960.
[5] *Sasu, M.* Natura fizică şi proprietăţile arcului electric. În: Progresele ştiinţei, **7**, nr. 3, 1971, p. 117—126.
[6] *Maecker, H.* Über die Charakteristiken zylindrischer Bögen. În: Zeitschrift für Physik, **157**, nr. 1, 1959, p. 1—29.
[7] *Goldenberg, H.* Approximate Solution of a nonlinear differential equation giving the temperature distribution in the positive column of a static arc. In: British Journal of Applied Physics, **10**, nr. 1, ian. 1959, p.47—51.
[8] *Edels, H, Fenlon, F.H.* Theory of a filled-tube thermal arc column. In: British Journal of Applied Pyhsics, **16**, nr. 2, febr. 1965, p. 219—230.
[9] *Phyllips, R.I.* Theory of the non-stationary arc column. In: British Journal of Applied Physics, **18**, nr 1, ian. 1967, p. 65—78.
[10] *Hoyaux, M.F.* Arc Physics. Springer-Verlag, New-York, 1968, 305 p.
[11] *Edels, H.* Properties and Theory of the Electric Arc. În: Proc. IEE, **108**, part. A, nr. 37, febr. 1961, p. 55—69.
[12] *Lee, T.H.* Plasma Physics and the Interruption of an Electric Circuit. In: Proceedings of the IEE, **57**, nr.3, mar 1969, p. 307—323.
[13] *Cassie, A.M.* A New Theory of Arc Rupture and Circuit Severity. Rap. 102, CIGRÉ, 1939.
[14] *Mayr, O.* Beiträge zur Theorie des statischen und dynamischen Lichtbogens. In: Archiv für Electrotechnik, Berlin, **37**, nr. 12, 1943, p. 588—608.
[15] *Mayr, O.* Über die Theorie der Lichtbogens und seine Löschung. In ETZ—A, **64**, nr. 49/50, 1943, p.645—652.
[16] *Browne, Jr., T.E.* A Study of A-C Arc Behaviour Near Current Zero by Means of Mathematical Models. In: Trans. AIEE, **67**, 1948, part. I. p. 141—155.
[17] *Browne, Jr. T.E.* An Approach to Mathematical Analisis of A-C Arc Extinction in Circuit Breakers. In: Trans. AIEE Power App. Syst., **77**, febr. 1959, p. 1508—1517.
[18] *Cassie, A.M., Mason, F.O.* Arc Conductivity in Gas-Blast Circuit Breakers. Rap. 103, CIGRÉ, 1956.
[19] *Sasu, M.* Modele matematice ale arcului electric de întrerupere. In: Progresele ştiinţei, **8**, nr. 6, 1972, p. 275—285.
[20] *Risk, J.* Instabilité de l'arc et constante de temps des disjuncteurs a air comprimé. Rap. 107, CIGRÉ, 1964.
[21] *Sasu, M.* O metodă de cercetare pe calculator analogic a unui arc electric, modelat pe baza ecuaţiei lui Cassie şi Mason. In: Electrotehnica, **21**, nr. 6, iunie 1973, p. 209—220.

Intrat în redacţie la 27.X. 1972

Cu privire la ecuaţiile diferenţiale ale maşinii sincrone

VASILE CORLĂŢEANU* — Bucureşti

CZ 621.313.32

1. Observaţii generale

Una din problemele mult discutate ale teoriei maşinilor electrice este problema formulării ecuaţiilor generale ale maşinii sincrone. Datorită aspectului complex al acestuia, Comitetul tehnic nr. 2 al Comitetului Electrotehnic Internaţional (CEI) a încercat în numeroase rînduri să facă unele recomandări asupra anumitor linii directoare. Astfel au fost elaborate recomandări în documentul 2G al C.E.I. din 1967 [1], iar la cel din 1970 [4], pe baza propunerii I.E.E.E. din 1969 [2] se vorbeşte despre aşa numita „diagramă fazorială".

După apariţia documentelor în cauză, a apărut un articol [5], care cuprinde o serie de critici, respinse apoi în [7] şi discutate în [8] de pe alte poziţii, întrucît prezentau o formulare prea concisă în noua recomandare CEI [6].

Printre altele, în [5] au fost atinse următoarele aspecte:

a) corespondenţa dintre ecuaţii şi diagrama fazorială;

b) congruenţa dintre ecuaţiile generale şi ecuaţiile regimului de referinţă;

c) corelarea dintre procesele fizice şi descrierea matematică a acestora;

d) reprezentarea grafică a fenomenului reactiv (datorită reluctanţelor) în diagrama fazorială;

e) structura matricei transformării Park.

O analiză atentă şi o comparaţie a celor sus-menţionate atestă faptul, că, deşi, toate îşi propun să contribuie la rezolvarea raţională a problemei în discuţie, a rezultat, în realitate, o varietate de probleme contradictorii, care nu vor facilita prezentarea unitară a diagramei fazoriale respective. Dimpotrivă, un cititor neavizat se află în faţă unor aspecte, care anterior erau mai mult sau mai puţin clarificate.

În cele ce urmează se expune poziţia autorului acestui articol cu privire la unele aspecte discutate în lucrările sus-menţionate. În acest

* Dr. docent. ing. *V. Corlăţeanu*, este profesor la Institutul Politehnic Bucureşti

scop, vor fi reproduse convențiile mai importante ale C.E.I. [6], la care se va face referire. Astfel, se spun următoarele :

Punctul 2.1 a — Sensul pozitiv de deplasare a diagramei fazoriale, inclusiv a axelor acesteia, este contrar mersului acelor unui ceasornic ;

Punctul 2.1 d — Componentele unui fazor sînt considerate ca pozitive, cînd sensul acestora coincide cu sensul pozitiv al axelor corespunzătoare ;

Punctul 2.2 (ultimul paragraf) — Axele celor trei faze A, B, C sînt desenate cu linii întrerupte, pentru a arăta dependența dintre acestea și fazorii rotativi, astfel încît, în acest mod, este posibilă determinarea mărimilor instantanee, ca : tensiuni, curenți etc.

2. Fenomenul reactiv

După cum s-a arătat în [5], polii aparenți ai unei mașini sincrone condiționează apariția fenomenului reactiv, sau de reluctanță, care constă în faptul că, în regim supraexcitat sinorul reprezentativ (mărime notată cu $\mathcal{SR}$) al sistemului fluxurilor de reacție este defazat în urma sinorului ($\mathcal{SR}$) sistemului statoric al curenților. Acest fenomen deosebit de interesant stă la baza unei clase de mașini sincrone și anume, a mașinilor sincrone de reluctanță, constituind în același timp deosebirea dintre mașina cu poli aparenți și cea cu poli înecați.

Astfel, se afirmă că în [5] acest fenomen nu este reprezentat corect, atît în [2] cît și în [4], dimpotrivă, se afirmă în [7], fenomenul este reprodus ireproșabil. Ca motivare a afirmației respective, în [7], se menționează că : „Fenomenul de reluctanță este corect reprezentat, dacă diagrama propusă de I.E.E.E. [2] este desenată corespunzător, din punct de vedere dimensional". Se poate desena fluxul în diagramele din [2] și cele ale C.E.I.-ului [4] (de exemplu diagonala dreptunghiului din stînga jos către dreapta sus, constituie pe baza laturilor $\underset{\sim}{\psi}\ a\ q$, $\underset{\sim}{\psi}\ ad$, putînd fi identificată, astfel, defazarea fluxului față de amperspire. Datorită saturației însă, reprezentarea acestor componente este problematică, din care cauză ar trebui să se renunțe la acest fazor.

Din cele de mai sus se poate constata că, după [7], nici diagrama din [2], nici cea din [4] (cel puțin dimensional), nu sînt corespunzător desenate. Dacă după aceea, fenomenul în discuție va putea fi identificat, este o problemă de optică, deoarece în această privință în [2] este dată o indicație fără echivoc, care sună astfel : „Studiul diagramei recomandate arată că fluxul produs de stator poate fi reprezentat printr-un fazor, care are același sens și direcție ca și fazorul de curent". De aici, rezultă că autorul lucrării [7] se află în totală contradicție cu autorii lucrării [2], pe care, de altfel, își intemeiază argumentația. În consecință, este aproape imposibil de a fi de acord cu afirmația că, acest fenomen special ar fi reprodus ireproșabil atît în [2] cît și în [4].

În acest context considerăm că este necesară încă o observație : renunțarea la considerarea componentelor d, q ale fluxului de reacție, așa cum a fost sugerată în [7], sau chiar și după alți autori, se întemeiază pe cel puțin două confuzii fundamentale, deoarece :

a) teoria celor două reacții ale lui Park, referitoare la mașina sincronă, este valabilă numai în cadrul mașinii idealizate, care neglijează saturația și, deci componentele transversale și longitudinale sînt independente între ele ;

b) aceste componente, exprimate în unități relative, sînt egale cu tensiunile $x_d\, i_d$, $x_q\, i_q$, care, cel puțin pînă acum, apar în toate diagramele.

În concluzie este aproape cu desăvîrșire imposibil să se renunțe la aceste componente.

3. Ecuațiile de transformare Park

O altă problemă care a produs păreri diferite între [2], [7], [8] și [5], este problema structurii ecuațiilor de transformare Park, care apar la trecerea de la sistemul de coordonate A,B,C la sistemul d, q, 0. Astfel, în [2], [7], [8] în contradicție cu [5], se afirmă că o matrice de transformatoare Park cu semne pozitive în ambele linii (d,q) este posibilă. Deși în [2], în afară de considerații generale, nu se dă nici o demonstrație în acest sens, în [7], se caută să se demonstreze afirmația respectivă. Astfel, se face referire la figurile 1,2 ; explicația din figura [2] arată că: „Sensul pozitiv de referință care stă la baza propunerii C.E.I., cu privire la transformarea celor două axe ; sensul de rotație a mașinii coincide cu sensul acelor unui ceasornic", iar la pagina 656 subpunctul 2 se spune: „Este valabil după cum se cunoaște? (semnul de întrebare al autorului) din figura 2 :

$$\begin{pmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{pmatrix} \text{ și } \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix}, \quad \text{(a)}$$

unde :

$$(T) = \sqrt{2/3} \begin{pmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin\theta & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{pmatrix}, \quad \text{(b)}$$

dacă transformarea se efectuează adoptîndu-se ipoteza puterii invariante. Sistemul de ecuații are de această dată următoarea înfățișare (înfășurările de amortizare și sistemul de succesiune nulă nu sînt considerate ; atenție: față de ecuațiile (1a) pînă la (6a) sensurile pozitive ale mărimilor u_d, i_d, ψ_d sînt inverse) și în continuare sînt scrise ecuațiile (1b) la (6b).

Ecuațiile (1a), (2a), (1b), (2b) după [7] sînt:

$$u_d = -i_d R - p\psi_d + \omega\psi_q, \quad (1a)$$

$$u_q = -i_q R - p\psi_q - \omega\psi_d, \quad (2a)$$

respectiv:

$$u_d = -i_d R - p\psi_d - \omega\psi_q, \quad (1b)$$

$$u_q = -i_q R - p\psi_q + \omega\psi_d. \quad (2b)$$

În această privință apar, în legătură cu modul de tratare adoptat în [7], următoarele nedumeriri.

a) Sensurile de referință adoptate de C.E.I. sînt arătate în figurile 1 și 2 [6]. Din aceste figuri rezultă, că în propunerile C.E.I. nici în [1], [2] sau [6], nici un alt sistem de referință nu este recomandat în comparație cu cele adoptate anterior, în afară de faptul că sensul pozitiv de referință al axei longitudinale este inversat. În consecință la efectuarea unei comparații consecvente a celor două sisteme, numai această schimbare trebuie considerată.

b) Se poate ușor stabili, că sistemul de referință prezentat în figura 2 [7] prezintă diferențe esențiale în comparație cu cel prezentat de C.E.I.:

— în primul rînd C.E.I. recomandă ca sens de rotație de referință a mașinii sensul invers de rotație a acelor ceasornicului, pe cînd în [7] tocmai contrariul, adică sensul direct de rotație a acelor ceasornicului;

— componenta longitudinală a SR al sistemului de curenți statoric (i_d) în diagrama fazorială C.E.I. este orientată antagonist față de curentul de excitație, pe cînd în [7], în același sens.

c) Deși în [7] se subliniază faptul, că în ecuațiile (1b) la (6b) sensurile de referință ale mărimilor u_d, i_d, ψ_d față de cele din (1a) la (6a) sînt inverse, nu poate fi văzut nici în ecuațiile (1a) la (6a) nici în (1b) la (6b) nici un sens de referință. Dacă se compară de exemplu (1a), (2a) cu (1b), (2b) singura deosebire, care apare constă în aceea că semnele t.e.m. de rotație (ψ_q, ψ_d) sînt inversate, pe cînd semnele tuturor celorlalți termeni sînt neschimbați. De aceea nu este clar ce rost are avertismentul respectiv.

d) Referirea la figura 2 [7], după părerea noastră, nu poate constitui o motivare suficientă pentru scrierea matricei (T) în forma respectivă.

Avînd în vedere faptul că teoria modernă a mașinilor electrice [10], [11], [12], [13], [14] etc. acordă o mare atenție problemei transformării de coordonate, ni se pare deosebit de important de a analiza transformarea Park în noul sistem de coordonate, recomandat de C.E.I. din acest punct de vedere.

În acest scop în figura 1 este reprezentat SR u din diagrama C.E.I., raportat la sistemul clasic de coordonate [9, fig. 2] pe de o parte, iar pe de altă parte la noul sistem C.E.I. [2, 7, 8]. În concordanță cu [2], [5], [6] mări-

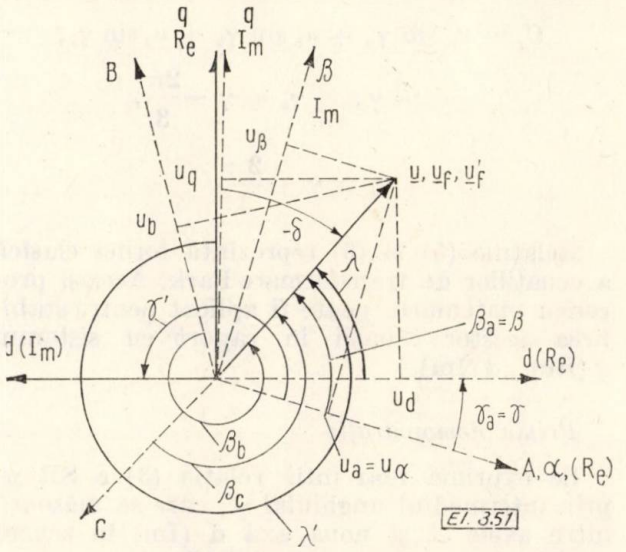


Fig. 1. Diagrama sinorului raportat la sistemele de coordonate, clasic (Park) și C.E.I.

mile instantanee pe fază u_a, u_b, u_c pot fi determinate ca proiecții ale SR $\underline{u}$ pe axele respective A, B, C. Astfel în raport cu sistemul A,B,C (respectiv α_s, β_s) se poate scrie după [11]:

$$\underline{u} = ue^{j\beta} = 2/3\,(u_a + a\,u_b + a^2\,u_c) = u_\alpha + ju_\beta, \quad (1)$$

unde: 1, a, a^2 sînt operatorii Stokvis-Fortescue; u — amplitudinea și β unghiul de fază al SR $\underline{u}$.

Ecuația (1) implică, deci, următoarele ecuații:

$$u_a = u\cos\beta_a = u\cos\beta\,;\; u_b = u\cos\beta_b\,;$$

$$u_c = u\cos\beta_c.$$

Referitor la sistemul d (real—Re), q (imaginar—Im), același SR poate fi exprimat astfel:

$$\underline{u}_f = u\,e^{j\lambda} = ue^{j(\beta-\lambda)} = u_d + ju_q, \quad (3)$$

de unde:

$$u_d = u\cos\lambda = u\cos(\beta-\gamma)\,; \quad (5)$$

$$u_q = u\sin\lambda = u\sin(\beta-\gamma)\,; \quad (6)$$

în care:

$$\pi/2 > \lambda > 0, \text{ și}$$

$$\operatorname{tg}\lambda = \sin\lambda/\cos\lambda = u_q/u_d. \quad (7)$$

Considerînd identitățile trigonometrice (20) din [5] și ecuațiile (2), relațiile (5) și (6) pot fi retranscrise în forma:

$$u_d = c_d\,C_d\,; \quad (5')$$

$$u_q = c_q\,C_q\,; \quad (6')$$

unde:

$$c_d = 2/3\,;\ c_q = -2/3\,;$$

$$C_d = u_a \cos\gamma_a + u_b \cos\gamma_b + u_c \cos\gamma_c\,;$$

$$C_q = u_a \sin\gamma_a + u_b \sin\gamma_b + u_c \sin\gamma_c\,;$$

$$\gamma_a = \gamma\,; \qquad \gamma_b = \gamma - \frac{2\pi}{3}\,;$$

$$\gamma_c = \gamma + \frac{2\pi}{3}.$$

Relațiile (5) și (6) reprezintă forma clasică a ecuațiilor de transformare Park. Același procedeu matematic poate fi aplicat pentru stabilirea acestor ecuații în raport cu sistemul q (Re) ; d (Im).

Prima demonstrație

Se exprimă mai întîi relația (3) a SR $\underline{u}_f$ prin intermediul unghiului γ', care se măsoară între axele A și noua axă d (Im) în sensul pozitiv de rotație a rotorului (fig. 1):

$$\underline{u}_f = ue^{j\lambda} = u\,e^{j\pi}\,e^{j(\beta-\gamma)} = -u\,[\cos(\beta-\gamma') + j\sin(\beta-\gamma')] = u_d + ju_q,$$

unde:

$$u_d = -u\cos(\beta-\gamma') = c'_d\,C'_d \qquad (8)$$

$$u_q = -u\sin(\beta-\gamma') = c'_q\,C'_q, \qquad (9)$$

în care:

$$c'_d = -2/3\,;\ c'_q = 2/3,$$

$$C'_d = u_a\cos\gamma'_a + u_b\cos\gamma'_b + u_c\cos\gamma'_c\,;$$

$$C'_q = u_a\sin\gamma'_a + u_b\sin\gamma'_b + u_c\sin\gamma'_c,$$

$$\gamma'_a = \gamma'\,;\ \gamma'_b = \gamma' - 2\pi/3\,;\ \gamma'_c = \gamma' + 2\pi/3.$$

A doua demonstrație

SR $\underline{u}_f$ în raport cu sistemul de coordonate I.E.E.E., C.E.I. se notează cu $\underline{u}'_f$. Poziția acestui SR, în raport cu axa reală (q) a noului sistem de coordonate, este determinată de unghiul λ' ($2\pi > \lambda' > 3\pi/2$) și se exprimă astfel:

$$u'_f = ue^{j\lambda'} = u\,(\cos\lambda' + j\,\sin\lambda') = u_q - ju_d, \qquad (10)$$

de unde:

$$u_q = u\cos\lambda', \qquad (11)$$

$$u_d = -u\sin\lambda', \qquad (12)$$

și

$$\operatorname{tg}\lambda' = \sin\lambda'/\cos\lambda' = (-u_d)/u_q, \qquad (13)$$

Dacă se exprimă λ' în funcție de γ' și β:

$$\lambda' = \pi/2 + (\beta - \gamma') \qquad (14)$$

și se introduce în (11) și (12), se obțin din nou ecuațiile (8) și (9).

A treia demonstrație

Același rezultat poate fi obținut dacă poziția SR u'_f se stabilește prin intermediul unghiului (δ'):

$$\underline{u}'_f = ue^{-j\delta'} = u(\cos\delta' - j\sin\delta') = u_q - j\,u_d\,; \qquad (15)$$

de unde:

$$u_q = u\cos\delta, \qquad (16)$$

$$u_d = u\sin\delta, \qquad (17)$$

în care:

$$-\pi/2\ s < -\delta < 0, \text{ și}$$

$$\operatorname{tg}(-\delta) = \sin(-\delta)/\cos(-\delta) = (-u_d)/u_q. \qquad (18)$$

Unghiul δ poate fi exprimat prin intermediul unghiului λ' prin relația:

$$\delta = -(\beta - \gamma') - \pi/2. \qquad (19)$$

Dacă se introduce (19) în (16) și (17), se obțin din nou relațiile (8), și (9), de unde rezultă că *în contradicție cu afirmațiile emise în [2, 7, 8], la adaptarea sistemului de coordonate I.E.E.E. C.E.I. o matrice de transformare Park cu semne pozitive în ambele lunii nu este posibilă, dacă se respectă consecvent convențiile formulate de C.E.I.* De asemenea, în contradicție cu [5] se poate constata că semnul negativ apare în fața primei linii ($-C'_d$) [8] și nu în fața liniei a doua.

Referitor la așa-zisa „transformare putere invariantă", care a fost aplicată în [7] poate fi remarcat faptul că aceasta nu poate fi congruentă nici cu figura 7 din [2], nici cu convenția C.E.I. [6] (punctul 2.2.), deoarece, în acest caz, mărimile instantanee de fază nu pot fi obținute direct ca proiecții ale S.R. În consecință se poate afirma că ipotezele admise în [2, 4, 6, 7, 8] pentru deducerea ecuațiilor diferențiale sînt arbitrare.

4. Forma sinorială a ecuațiilor de tensiuni

Cu toate acestea este interesant de analizat modul de tratare aplicat în [7], referitor la aplicarea „fazorilor spațiali". Astfel la pagina 657 se scrie următoarea ecuație, pentru regimul staționar, raportată la sistemul *A.B.C.*:

$$\underline{u} = (T_1)\,(T)^{-1}\begin{pmatrix} u_d \\ u_q \end{pmatrix} =$$

$$= (T_1)\,(T)^{-1}\left[\begin{pmatrix} -R & -x_q \\ x_d & -R \end{pmatrix}\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ x_{df} & i_f \end{pmatrix}\right], \qquad (c)$$

în care: (T_1), $(T)^{-1}$ sînt definite de relaţiile:

$$\underline{i} = (2/3)(1\ a\ a^2)\begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix} = (T_1)\begin{pmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{pmatrix}, \qquad \text{(d)}$$

$$(T)^{-1} = 1/\sqrt{6}\begin{pmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{pmatrix}(1 - \mathrm{j})e^{j\theta} + 1/\sqrt{6}\begin{pmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{pmatrix}(1\ \mathrm{j})\ e^{j\theta} \qquad \text{(e)}$$

unde:

$$a = e^{j2\pi/3}.$$

În continuare, la aceeaşi pagină în coloana 2, este retranscrisă ecuaţia (*c*), după ce se introduc aşa numiţii „fazori spaţiali" i_d, i_q, în forma:

$$\underline{u} = \underline{u}_{q0} - \underline{i}\,R - \mathrm{j}\,x_d\,\underline{i}_d - \mathrm{j}\,x_q\,\underline{i}_q, \qquad (f)$$

în care:

$$\underline{i}_d = \underline{i}\sin\varphi \cdot e^{-j(\pi/2-\varphi)}$$

$$\underline{i}_q = \underline{i}\cos\varphi \cdot e^{j\alpha} \qquad \text{(g)}$$

Referitor la regimul tranzitoriu se spune: „Tot aşa de bine poate fi introdus fazorul spaţial al fluxurilor rezultante:

$$\underline{u} = \underline{i} - R - (p + \mathrm{j}\,\omega)\,\underline{\psi}, \qquad \text{(h)}$$

dacă acest fazor se defineşte astfel":

$$\underline{\varphi} = -j\sqrt{2/3}\ (\psi_q + \mathrm{j}\psi_d)\ e^{j\theta}. \qquad \text{(i)}$$

Forma ecuaţiilor reproduse mai sus este oarecum originală.

Pentru a putea compara aceste ecuaţii cu cele care au fost deduse în [5], sau scrise în [6] trebuie aduse acestea la forme transcrise în sistemul de coordonate: *d*, *q*.

Este uşor de controlat că produsul $(T_1)\,(T)^{-1}$ este de forma:

$$(T_1)\,(T)^{-1} = \sqrt{2/3}\ (1 - \mathrm{j})\ e^{j\theta}.$$

astfel încît, mărimile $\underline{i}$ şi $\underline{\psi}$, vor avea expresii similare cu $\underline{u}$.

$$\underline{u} = \sqrt{2/3}\ (u_d - \mathrm{j}\,u_q)\,e^{j\theta}, \qquad \text{(j)}$$

Dacă se introduc ecuaţiile (j) în (c) şi (h) şi se ţine seama de ecuaţiile (4b), (5b), şi (i), se obţin următoarele ecuaţii raportate la sistemul *d*, *q*:

$$u_d - \mathrm{j}u_q = -R(i_d - \mathrm{j}\,i_q) - \mathrm{j}\,[-\mathrm{j}(\psi_q + \mathrm{j}\psi_d)], \qquad \text{(c')}$$

respectiv:

$$u_d + \mathrm{j}\,u_q = -R\,(i_d - \mathrm{j}i_q) - (p + \mathrm{j}\omega)\,[-\mathrm{j}\,(\psi_q + \mathrm{j}\psi_d)]. \qquad \text{(h')}$$

Dacă aceste ecuaţii, după cum se afirmă în [7], pot reprezenta „relaţia naturală dintre diferiţii fazori spaţiali", este de asemenea o părere personală. În realitate ele reprezintă:

a) o confuzie matematică, întrucît componentele d, q în urma introducerii unor definiţii arbitrare suplimentare, sînt considerate alternativ fie ca componente reale, fie ca componente imaginare;

b) ecuaţiile de plecare implică un sistem de coordonare *d* (real); $-q$ (imaginar) care nu au nimic comun nici cu sistemul adoptat în [2,4,6] şi nici cu cel adoptat în [5].

În afară de cele de mai sus, introducerea aşa-numiţilor „fazori spaţiali" $\underline{i}_d$, $\underline{i}_q$; $\underline{\psi}_d$, $\underline{\psi}_q$, care în [7] se întîlnesc pentru prima dată, poate arăta, ce consecinţe poate avea o asemenea metodologie. După cum se arată destul de detaliat în [5 ec. 16], în [10 pag. 32—40], în [11, pag. 26—37], în [12 pag. 113 — 118], în [13 pag. 50—61] şi în [14 pag. 672—674], noţiunea de fazor spaţial (a cărei denumire nu sună de loc consecvent, deoarece în electrotehnica generală în mod normal un fazor este conceput ca o reprezentare simbolică complexă fixă, care poate fi corelată cu o mărime sinusoidală monofazată, funcţie de timp), respectiv SR, este definită ca o imagine simbolică a unui sistem trifazat de mărimi, funcţie de timp, care prezintă o repartiţie spaţială simetrică la periferia intrefierului maşinii.

Apare foarte clar, că „fazorii spaţiali" $\underline{i}_d$, $\underline{i}_q$; $\underline{\psi}_d$ $\underline{\psi}_q$ nu corespund acestei definiţii, deoarece nu sînt nici fazori, nici fazori spaţiali, ci componente ale SR, văzute din sistemul de coordonate *A*, *B*, C.

Pe de altă parte, metodologia respectivă mai arată faptul că, din punct de vedere al notaţiilor utilizate în [7] „nu poate fi riguros scoasă în evidenţă" deosebirea dintre SR—*ii*, care sînt notaţi cu litere mici, subliniate, şi componentele complexe ale acestora (u_a, u_q etc.) care, de asemenea, sînt notaţi cu litere mici, subliniate.

Referitor la afirmaţia formulată la punctul *a* pagina 655 [7], precum că între diagramă şi sistemul de ecuaţii ar exista o concordanţă, trebuie subliniat faptul că, cel puţin în [4] şi [6] nici nu poate fi vorba de o asemenea concordanţă, deoarece:

a) mărimile care apar în sistemul de ecuaţii sînt mărimi scalare, în sensul clasic Park;

b) mărimile care apar în diagramă sînt toate mărimi complexe, fără a se arăta legătura între cele două categorii de mărimi.

În baza analizei efectuate mai sus se poate trage concluzia, după părerea noastră, că

afirmaţiile emise în [7] pe baza propunerilor [2] şi [4] în contradicţie cu [5] nu pot fi demonstrate.

Referitor la lucrarea [8] trebuie subliniat că, un cititor care cunoaşte teoria generală a maşinii sincrone şi în plus ceva despre „fazorii spaţiali" sau SR—i, la citirea acestei lucrări va fi puţin dezorientat de expunerea respectivă. Nemailuînd în consideraţie acele elemente din [8], care sînt comune cu cele din [7], ca, de exemplu, structurarea arbitrară a impedanţei maşinii în sistemul de coordonate $d,q,0$, adoptarea ecuaţiilor de transformare Park cu semne pozitive în ambele linii etc. în cele ce urmează se va analiza în ce măsură ecuaţiile (4), (9) concordă cu ecuaţiile (10).

Ecuaţiile (4), (9) sînt:

$$(u_{dq0}) = -c(r_{abc})\,(i_{dq0}) - p\,(\psi_{dq0}) + \omega\begin{pmatrix} -\psi_q \\ \psi_d \end{pmatrix}, \tag{4}$$

$$\begin{pmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_f \\ \psi_D \\ \psi_Q \end{pmatrix} = \begin{array}{c} \\ d \\ q \\ f \\ D \\ Q \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} d & q & f & D & Q \end{array} \\ \begin{pmatrix} x_d & 0 & x_{df} & x_{dD} & 0 \\ 0 & x_q & 0 & 0 & x_{qQ} \\ x_{df} & 0 & x_f & y_{fD} & 0 \\ x_{dD} & 0 & x_{fD} & x_d & 0 \\ 0 & x_{qQ} & 0 & 0 & x_Q \end{pmatrix} \end{array} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{pmatrix}, \tag{9}$$

ar ecuaţiile (10), (11), (12):

$$(u) = [(r) + p(x) + \omega(g)\,](i) = (z)\,.\,(i)\,, \tag{10}$$

$$i = \begin{pmatrix} -i_d \\ -i_q \\ i_f \\ i_D \\ i_Q \end{pmatrix} \tag{11}$$

$$g = \begin{array}{c} \\ d \\ q \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} d & q & f & D & Q \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & x_q & 0 & 0 & -x_{qQ} \\ -x_d & 0 & x_{df} & x_{dD} & 0 \end{pmatrix} \end{array}, \tag{12}$$

adăugîndu-se următoarele: în ambele sisteme, matricea diagonală (r) a celor cinci rezistenţe r_d, r_q, r_f, r_D, r_Q ($r_d = r_q = r$) şi matricea (x) sînt egale conform ecuaţiei (9), iar g (din 12) este matricea de inducţie".

Ecuaţiile (14), retranscrise altfel, arată astfel:

$$u_d = -r\,i_d - p\,\psi_d - \omega\,\psi_q\,;\; u_q = -r\,i_q - p\psi_q + \omega\,\psi_d \tag{4'}$$

unde, conform ecuaţiilor (9):

$$\psi_d = x_d\,i_d + x_{df}\,i_f + x_{dD}\,i_D\,;\; \psi_q = x_q\,i_q + x_{qQ}\,i_Q. \tag{9'}$$

Deoarece ecuaţiile (10) reprezintă altă formă a ecuaţiilor (4), este necesar ca prin introducerea în aceste ecuaţii a operatorilor matriceali corespunzători să se obţină din nou ecuaţiile (4).

Se consideră, astfel, expresiile matricelor (x) (9), g (12) şi (i) (11) şi ecuaţiile (10) obţinînd:

$$u_d = -r\,i_d - p\,(x_d\,i_d - x_{df}\,i_f - x_{dD}\,i_D) - \omega\,(x_q\,i_q + x_{qQ}\,i_Q)\,; \tag{10'}$$

$$u_q = -r\,i_q - p\,(x_q\,i_q - x_{qQ}\,i_Q) + \omega(x_d\,i_d + x_{df}\,i_f + x_{dD}\,i_D).$$

Comparîndu-se (10') cu (4'), respectiv (9') se constată că în ecuaţiile (10') expresiile componentelor ψ_d, ψ_q prezintă semne diferite în structura tensiunilor statice ($p\,\psi_d$, $p\,\psi_q$) şi a tensiunilor dinamice ($\omega\psi_d$, $\omega\,\psi_q$). Aceasta înseamnă că deducerea acestor ecuaţii se sprijină pe ipoteze arbitrare. Examinarea în continuare a ecuaţiilor regimului staţionar arată şi ea unele inconsistenţe matematice. Pentru a dovedi această afirmaţie ne vom referi la ecuaţiile (24) şi (35):

$$u_d = -r\,i_d - \psi_q = -r\,i_d - x_q\,i_q, \tag{24}$$

$$u_q = -r\,i_q + \psi_d = x_d\,i_d - r\,i_q + x_{df}\,i_f,$$

$$u_d = -U\sin\delta,\; u_q = U\cos\delta. \tag{35}$$

Dacă se introduce (35) în (24), se obţin relaţiile:

$$U\sin\delta = r\,i_d + x_q\,i_q\,; \tag{24'}$$

$$U\cos\delta = -r\,i_q + x_d\,i_d + x_{df}\,i_f,$$

de unde, rezultă că, în ambele cazuri tensiunile la borne apar mai mari decît tensiunile electromotoare. Avînd în vedere constatările de mai sus se poate conchide că scopul pe care lucrarea [8] şi l-a propus „de a completa textul concis al documentului C.E.I. [6]" nu a fost atins în întregime. Dimpotrivă, după părerea noastră, sînt necesare modificări fundamentale pentru a prezenta o expunere consecventă.

5. Alte observaţii cu privire la recomandările C.E.I. [6]

Fără îndoială ultimul document [6] din lunga serie de documente similare, elaborate de C.E.I., este şi cel mai important, prin aceea că convenţiile adoptate sînt raţionale, iar rezolvarea problemei puse este aproape de forma sa finală.

Cu toate acestea, în afară de observaţiile ridicate în [5] şi care, după părerea noastră rămîn în vigoare, se impun şi alte observaţii.

a) Dacă planul q,d se asociază cu un plan complex Gauss, astfel încît axa q se confundă

cu axa reală, iar axa d cu cea imaginară, atunci întreaga diagramă se află în cadranul patru al planului complex considerat, ceea ce atît din punct de vedere matematic, cît şi din punct de vedere practic nu este raţional, deoarece de astă dată, cum corect se arată în [7], u_d, i_d şi e_d au semne negative, pe cînd în reprezentarea clasică numai ψ_d are semn negativ,

b) Simbolismul utilizat prezintă multe inconsecvenţe. Astfel, în diferite ecuaţii, apar mărimi scrise cu litere mari, sau mici, deşi toate sînt exprimate în unităţi relative.

c) O deosebită atenţie merită să fie acordată lămuririi expresiilor puterilor: activă şi reactivă (P, Q),atît din punct de vedere al notaţiilor utilizate cît şi din cel al interpretării fizice. Utilizarea literelor mari pentru notarea acestor mărimi poate provoca cititorilor impresia, că aceste formule sînt valabile numai în regim staţionar. Referitor la expresia:

$$p = u_d\, i_q + u_q\, i_q, \tag{20}$$

care, în literatură este considerată ca expresia puterii active totale: ($p.u$) (u_0,i_0=0), se mai întîlneşte forma care în funcţie de mărimile u_a,u_b,u_c; i_a,i_b,i_c, este redată de

$$p = (2/3)\,(u_a\, i_a + u_b\, i_b + u_c\, i_c), \tag{20'}$$

şi denumită „putere instantanee" [8], sau „putere debitată" [9], sau „putere internă activă" [17], sau „putere" [19], astfel încît, în acest mod adeseori caracterul de putere activă dispare.

Din [6] rezultă de altfel foarte clar, că expresia (20) reprezintă formula cea mai generală a puterii active, atît în regim permanent, cît şi în regim tranzitoriu, deoarece mărimile u_d,u_q, i_d,i_q apar în ecuaţiile generale de tensiuni.

După cum s-a arătat în [11] şi [16], formula:

$$q = u_q\, i_d - u_d\, i_q = 2/3\,\sqrt{3}\,[(u_a - u_b)\, i_c + (u_b - u_c)\, i_a + (u_c - u_a)\, i_b] = 1/\sqrt{3}[(u_b - u_c)\, i_a - u_a\,(i_b - i_c)], \tag{21}$$

exprimă puterea instantanee reactivă (p.u) (v. şi [15]) a unei maşini trifazate numai în cazul unui sistem de curenţi şi tensiuni simetric sau al unui sistem nesimetric de asimetrie incompletă ($u_2 \neq 0$; $i_2 = 0$; $u_2 = 0$; $i_2 \neq 0$).

Pentru cazul general al unui sistem arbitrar s-a propus în [16] o expresie corespunzătoare. Acest fapt însă n-au găsit o reflectare nici în documentele amintite, nici în lucrările [7] şi [8].

b) În teoria maşinilor electrice este folosită expresia puterii complexe aparente instantanee s [11], [16] de forma

$$s = \underline{u}\, i^* = p + jq, \tag{22}$$

unde $\underline{u}$, i sînt sinorul reprezentativ al sistemului de tensiuni şi mărimea complex conjugată asinorului reprezentativ de curent. Această mărime în afară de denumirea amintită, nu este în nici un fel denumită în [17 pag. 74], [19, pag. 241] sau este denumită drept „fazor de putere" în [18, pag. 1222]. Nici în legătură cu această problemă nu se evidenţiază vreo atitudine în [4] şi [6].

e) La analizarea ecuaţiilor tensiunilor, prezentate în [4] şi [6] ca generale, se arată că, expresiile componentelor d,q în funcţie de unghiul intern δ sînt valabile numai pentru cazul regimului staţionar.

f) Deşi R.H.Park [9, fig. 3] în urmă cu mai mult de 40 de ani a cutezat să conceapă o diagramă, care să corespundă formei generale a ecuaţiilor tensiunilor, o asemenea diagramă nu se întîlneşte în [4] şi [6]. Între altele trebuie menţionat faptul că diagrama generală reprezentată în [5, fig. 4] este deosebită şi mai avantajoasă ca cea din [9].

6. Unele consecinţe care rezultă din lucrarea [5]

După cum se ştie [11], [20] numărul maxim al variantelor ecuaţiilor Park este 128, dacă se consideră toate convenţiile, referitoare la alegerea sistemului de coordonate d,q scrierea diferită a legii inducţiei electromagnetice şi regimul de funcţionare de referinţă. Pe baza lucrărilor [5] şi [11], se poate demonstra că „la limită, ecuaţia sinorială de tensiuni trebuie să verifice ecuaţia regimului de referinţă" şi astfel se poate alege raţional varianta preferenţială a acestor ecuaţii. Pentru a demonstra această afirmaţie ne vom referi la figurile 2 şi

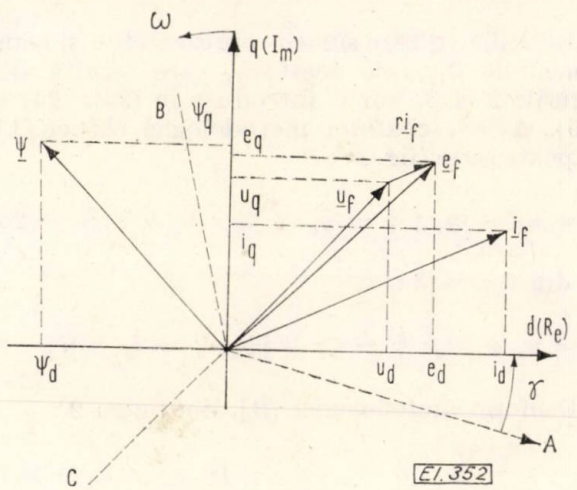


Fig. 2. Diagramă a regimului de referinţă.

3, care reprezintă diagramele regimului de referinţă.

Ulterior se va compara metodologia clasică (Park, I.E.E.E., C.E.I.) şi cea preconizată

în [5]. Drept ecuații inițiale pentru regimul de generator, se vor considera :

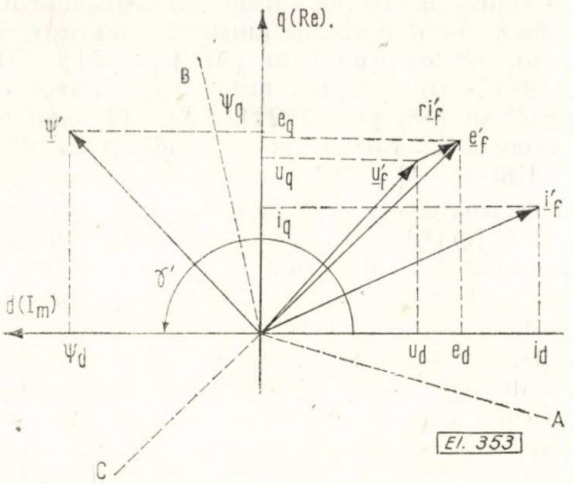


Fig. 3. Alt tip de diagramă a regimului de referință.

— ecuația sinorială de tensiuni în sistemul d,q $(p.u)$:

$$\underline{u} = -r\underline{i} - (p+\mathrm{j}p)\,\underline{\psi}; \tag{23}$$

— ecuația generală a cuplului electromagnetic 11 :

$$\underline{m} = -R_e\,(\mathrm{j}\,\underline{\psi}\,\underline{i}^*); \tag{24}$$

și expresia generală a puterii complexe aparente instantanee :

$$\underline{s} = \underline{u}\,\underline{i} = p + \mathrm{j}\,q, \tag{25}$$

unde :

$$p = \mathrm{Re}\,(\underline{s}), \tag{25'}$$

$$q = \mathrm{Im}\,(\underline{s}). \tag{25''}$$

Relațiile dintre sinorii reprezentativi și componentele d,q, ale acestora, care rezultă din figurile 2 și 3, vor fi introduse în (23), (24) și (25). Astfel, conform metodologiei clasice [1], se poate scrie (fig. 2) :

$$\underline{u} = u_d + \mathrm{j}u_q\ ;\ \underline{\psi} = \psi_d + \mathrm{j}\psi_q;\ i_d = \mathrm{j}i_q; \tag{26}$$

și din figura 3 :

$$\underline{u} = u_q + \mathrm{j}u_d;\ \underline{\psi} = \psi_q + \mathrm{j}\psi_d;\ \underline{i} = i_q + \mathrm{j}i_d. \tag{26'}$$

Conform metodologiei [2], din figura 2 :

$$\underline{u} = u_d + \mathrm{j}u_q;\ \underline{\psi} = -\psi_d + \mathrm{j}\psi_q;\ \underline{i} = i_d + \mathrm{j}i_q; \tag{27}$$

iar din figura 3 :

$$\underline{u} = u_q - \mathrm{j}u_d;\ \underline{\psi} = \psi_q + \mathrm{j}\psi_d;\ \underline{i} = i_q - \mathrm{j}i_d.$$

Dacă relațiile (26), (27) se introduc în (23), (24), (25) se obțin următoarele ecuații :

— după metodologia clasică (fig. 2) :

$$u_d = -p\psi_d + p\,\gamma\psi_q - r\,i_d;\ u_q = -p\,\psi_q - p\,\gamma\,\psi_d - r\,i_q; \tag{28}$$

$$m = \psi_q\,i_d - \psi_d\,i_q; \tag{29}$$

$$p = u_d\,i_d + u_q i_q; \tag{30}$$

$$q = u_q\,i_d - u_d\,i_q; \tag{31}$$

—după metodologia clasică (fig. 3) :

$$u_d = -p\psi_d - p\gamma\psi_q - r\,i_d;\ u_q = -p\psi_q + p\,\gamma\,\psi_d - ri_q \tag{28'}$$

$$m = \psi_d\,i_q - \psi_q\,i_d; \tag{29'}$$

$$p = u_d\,i_d + u_q\,i_q; \tag{30'}$$

$$q = u_d\,i_q - u_q\,i_d; \tag{31'}$$

— după metodologia preconizată în [5] din figurile 2 și 3 :

$$u_d = p\psi_d + p\gamma\psi_q - r\,i_d;$$

$$u_q = -p\psi_q + p\gamma\psi_d - r\,i_q; \tag{32}$$

$$m = \psi_d\,i_q + \psi_q\,i_d; \tag{33}$$

$$p = u_d\,i_d + u_q\,i_q; \tag{34}$$

$$q = u_q\,i_d - u_d\,i_q. \tag{35}$$

Din comparația ecuațiilor (28—31) și (32—35) rezultă că, aplicînd metodologia clasică se schimbă semnele tensiunilor electromotoare dinamice, ale expresiei cuplului electromagnetic și puterii reactive, la trecerea de la sistemul de coordonate Park la cel recomandat de C.E.I. Din contra, aplicînd metodologia preconizată în [5] ecuațiile rămîn neschimbate în ambele sisteme, de unde rezultă că forma respectivă de ecuații apare invariantă față de alegerea sistemului de coordonate. Conform celor cunoscute de noi pînă în prezent nu există o asemenea propunere de variantă. Această proprietate este condiționată de faptul că metodologia respectivă consideră în mod corect defazarea în timp și decalarea în spațiu a tensiunii electromotoare induse față de fluxul inductor la $\pi/2$ radiani electrici. Deosebit de interesant apare și faptul, că în expresia cuplului electromagnetic (33) ambii termeni apar cu același semn, plus. Fizic, acest lucru poate fi explicat prin aceea că în regim supraexcitat ambele componente ale curentului i_d, i_q, corespunzătoare

componentelor fluxului ψ_q, ψ_d, sînt decalate în urmă de $\pi/2$ radiani electrici. În consecinţă nu există nici un temei ca cei doi termeni să prezinte semne diferite.

7. Concluzii

a) Afirmaţiile făcute în [7] pe baza documentelor I.E.E.E. şi C.E.I. [2], [4] nu pot fi demonstrate:

— după cum s-a arătat mai sus (ec. 8,9) este imposibil a obţine o matrice de transformare Park cu semne pozitive în ambele linii, dacă se respectă consecvent toate convenţiile adoptate de C.E.I.;

— fenomenul de reluctanţă (reactiv) a fost neglijat în [2], [4] şi [6].

— despre o concordanţă între ecuaţiile scrise şi diagrama fazorială din [4] şi [6] nu poate fi vorba, deoarece ecuaţiile conţin mărimi scalare, în timp ce diagrama conţine mărimi complexe, fără ca legătura dintre aceste două clase diferite de mărimi să fie dată;

— denumirea componentelor complexe $\underline{i}_d$, $\underline{i}_q$, Ψ_d, Ψ_q drept „fazori spaţiali", care se întîlneşte în [7], dovedeşte înţelegerea confuză a noţiunii de „fazor spaţial" sau „sinor reprezentativ";

— opinia referitoare la renunţarea la componentele $d,/q$ ale fluxului de reacţie în „diagrama fazorială", din cauza saturaţiei, se află în contradicţie cu teoria celor două axe ale maşinii sincrone, pentru că această teorie este valabilă numai în cadrul maşinii idealizate în sens Park, care neglijează saturaţia şi în unităţi relative aceste componente sînt egale cu componentele de tensiuni $x_d\, i_d$, $x_q\, i_q$. De aceea, pînă acum nu a putut renunţa nimeni la ele;

— ecuaţiile prezentate în [7] au la bază ipoteze, care nu sînt comune nici celor din [4] nici celor din [5]. După cum s-a arătat (vezi ecuaţiile c′, h′), aceste ecuaţii sînt inconsistente din punct de vedere matematic.

b) Denumirea diagramei de tensiuni a fazorilor spaţiali sau a sinorilor reprezentativi, drept „diagramă fazorială" după cum se întîmplă în [2], [4], [6], [8], este de natură să inducă în eroare, deoarece componentele d,q, conform transformării Park, sînt determinate simultan de componentele instantanee, a,b,c. Prin urmare, ca imagine simbolică, numai „fazorul spaţial" sau „sinorul reprezentativ" atît din punct de vedere matematic, cît şi fizic, pot reprezenta atît sistemul mărimilor instantanee, cît şi componentele d,q; noţiunea de „fazor" în electrotehnică defineşte o imagine simbolică a unei mărimi monofazate de variaţie sinusoidală în timp. În consecinţă, această imagine nu are nimic comun cu sinorul reprezentativ — imagine a unui sistem trifazat de mărimi scalare.

c) În această ordine de idei reprezentarea axelor A,B,C, în cadrul „diagramei fazoriale", apare ca o contradicţie în sine.

d) Ecuaţiile flux-tensiune (4) prezentate în [8] nu sînt congruente cu ecuaţiile „curent-tensiune" (10).

e) După cum a fost demonstrat mai sus, pe baza lucrării [11], procedeul preconizat în [5] permite alegerea unei variante a sistemului de ecuaţii din cele 128 posibile [20]. Această variantă de ecuaţii prezintă proprietatea de „invarianţă" la alegerea sistemului de ecuaţii d,q.

f) Expunerea prea concisă a documentelor C.E.I.[6] nu corespunde unei necesităţi şi duce la diverse interpretări eronate. Alte documente similare, ale aceluiaşi Comitet, sînt expuse mult mai detaliat, ca de exemplu, documentul 8 (Bureau Central), care are 61 de pagini.

Singura necesitate care trebuie să existe în această privinţă, după părerea noastră, constă în aceea că documentele respective trebuie să reflecte stadiul actual de dezvoltare a teoriei în domeniul considerat, pentru a se obţine o recunoaştere şi o răspîndire în cercul specialiştilor şi nu pentru a rămîne cu menţiunea „not for reproduction".

g) Textul aceste i lucrări a fost trimis pentru luare de cunoştinţă revistei ETZ-A, autorilor lucrărilor [5], [7] şi [8], precum şi prof. L.G. Mamicomianţ, preşedintele subcomitetului 2G din C.E.I.

Bibliografie

[1] Draft on phasor relationship of synchronous machines. In: IEC Study Doc. 2 G (Secretariat) 14, July 1967

[2] IEEE Committee Rep. Recommended phasor diagram for synchronous machines. In: IEEE Trans. on Power App. & Syst. vol. 88 (1969) p. 1593—1601.

[3] Discussion to IEEE Committee Rep., No. 11, November 1969, p. 1593—1601.

[4] ICE Recommended Conventions for description of synchronous machines. In: IEC Doc. 2 G (Secretariat), 15, June 1970.

[5] *V.N.Nedelcu, A. Webs*: On voltage equations of synchronous machines. In: ETZ-A Bd. 92, (1971), S. 434—439.

[6] Conventions for description of synchronous machines (Draft). In: IEC Doc. 2 G (Bureau Central) 10, July 1971.

[7] *Sattler Ph. K.* Stellungnahme zum Aufsatz Nedelcu u. Webs: On voltage equations of synchronous machines. In: ETZA—A, Bd. 92, (1971), S. 655—658.

[8] *Böning, W.* Ueber die IEC-Empfehlungen zur Beschreibung von Synchronmaschinen. In: ETZA, Bd. 93, (1972), H. 2, S. 87—90.

[9] *Park, R.H.* Two-reaction theory of synchronous machines. Part. I. In: Trans. AIEE, vol. 47, (1929), p. 716—730.

[10] *Kovacs K.P.* Symmetrische Komponenten in Wechselstrommaschinen. Birkhäser Verlag, Basel und Stuttgart, 1962.

[11] *Nedelcu V.N.* Transient phenomena in alternating current electrical machines. Editura Tehnică, Bucureşti, 1968.

[12] *Weh, H.* Elektrische Netzwerke und Machinen in Matrizendarstellung. Bibliographisches Institut, Mannheim Zürich, 1968.

[13] *Kazowski, E.I.* Ausgleichvorgänge in Wechselstrommaschinen. Verlag der Akad, der Wiss. der UdSSR. Moskau, Leningrad, 1962.
[14] *Müller, G.* Theorie rotierender Maschinen, VEB-Verlag Technik, Berlin, 1967
[15] *Mamikoniantz, L.G.* Bestimmung der Blindleistung der Syn chronmaschine in asynchronen Betrieb. Elektritschestwo, vol. **78** (1958), Nr. 3, S. 9—14.
[16] *Nedelcu, V.N.* Neue Betrachtungen zur Frage der Blindleistung. In: ETZ, A, Bd. (**88**), 1967, H. 10 S. 249—252.
[17] *Wenikow, W.A., Shukow, L.A.* Ausgleichsvorgänge in elektrischen Systemen, VEB Verlag Technik, Berlin, 1956.
[18] *Canay, M.* Komplexe Leistungs — bzw. Drehmomentziffern zur Behandlung der Pendelungen von Synchron — und Asynchronmaschinen. In: Bul. des Schweiz. Elektrotechn. Vereins, Bd. **57**, (1966), Nr. 26, S. 1220—1224.
[19] *Jovanovski, C.B., Hamman, M.* Contribution to the theory of asynchronous performance of synchronous machines with salient poles, Part. II. In: IEEE Trans. on Power App. & Systems, vol. **90**, (1971), No. 2, S. 418—426.
[20] *Werlennikow, L.P.* Die Klassifikation von differentiellen Gorew-Park-Gleichungen, In: Elektritschestwo, vol. **79** (1959), Nr. 11, S. 13—20.

Intrat în redacţie la 6. III. 1973

Asupra posibilităţilor de modelare fizică a turbogeneratoarelor româneşti de mare putere

RĂZVAN MĂGUREANU şi DORIAN MACREA* — Bucureşti

CZ 621.313.32.81—501.72:52

1. Introducere

Ultimul deceniu a fost marcat în domeniul construcţiei turbogeneratoarelor sincrone prin realizarea unor unităţi de putere foarte ridicată, pînă la 1,5 GVA, iar studiile şi proiectele recente prevăd realizarea în viitorul apropiat a unor unităţi de 2,5 GVA şi chiar mai mult [1].

În perioada actuală, România este caracterizată printr-un ritm de dezvoltare a sistemului electroenergetic deosebit de ridicat, producţia de energie electrică dublîndu-se practic la fiecare cinci ani. Termocentralele reprezintă şi vor reprezenta principalul producător de energie electrică la noi în ţară, motiv pentru care au fost asimilate şi sînt în curs de construcţie o serie de turboagregate de mare putere şi performanţă la nivelul tehnicii mondiale. Dintre acestea sînt în curs de realizare turbogeneratoarele de 160 MVA şi 330 MVA şi în curs de asimilare grupurile de 660 MVA.

Realizarea unui turboagregat de o asemenea putere nu poate fi făcută fără o cunoaştere prealabilă în amănunţime a caracteristicilor şi performanţelor sale atît în regim staţionar cît şi în regim dinamic. Valoarea ridicată a unei asemenea unităţi cît şi riscurile legate de comportarea nesatisfăcătoare în sistem au obligat pe proiectanţi şi constructori să recurgă la diverse soluţii de predeterminare cît mai precisă a parametrilor electromecanici şi a performanţelor de funcţionare în sistem a turbogeneratoarelor ce urmează a fi construite.

Complexitatea proceselor care au loc la funcţionarea unei astfel de maşini sau grup de maşini în paralel se răsfrînge implicit şi în dificultăţile de analiză şi sinteză a sistemului studiat. Ca atare, în cele mai multe cazuri, volumul de calcule, precizia foarte ridicată care e necesară, dificultatea efectuării acestor calcule prin metode clasice au impus utilizarea unor metode noi, cum ar fi programarea pe calculatoare numerice, modelarea pe calculatoare analogice şi modelarea fizică a diverselor instalaţii şi fenomene.

Cercetările asupra comportamentului centralelor electrice funcţionînd în sisteme electroenergetice mari, interconectate, sînt întreprinse în mod curent cu ajutorul calculatoarelor numerice, modelarea generatoarelor sincrone fiind realizată pe baza ecuaţiilor lui Park. Este însă necesar un număr important de aproximaţii pentru adaptarea acestor ecuaţii la posibilităţile calculatoarelor, lucru care duce la o reducere a acurateţei calculului. Metodele analogice operînd în timp real prezintă şi ele interes în studiul unor aplicaţii particulare în calculul sistemelor electroenergetice, cum ar fi de exemplu încercarea echipamentului automat de comandă al generatorului. Pentru a obţine însă rezultate satisfăcătoare, se impune realizarea unei modelări fizice a sistemului electroenergetic, operaţie în cadrul căreia problemele cele mai dificile le ridică modelul alternatorului. Odată realizat, situaţia cea mai avantajoasă este studiul în paralel al stabilităţii sistemelor energetice pe modelul fizic şi pe calculatoarele numerice. Rezultatele obţinute în acest caz sînt mult mai precise, cele două metode verificîndu-se reciproc.

Trebuie menţionat că astfel de modele au fost realizate şi utilizate cu succes în studiul unor probleme de comportare a sistemelor electroenergetice, atît în ţară cît şi în străinătate [2]—[11], modele bazate în special pe dispozitive cu efect de rezistenţă negativă.

În lucrarea de faţă ne vom referi la o metodă nouă de modelare fizică bazată pe creşterea conductivităţii metalelor la temperaturi scă-

* Dr. ing. *R. Măgureanu* este şef de lucrări la Catedra de maşini electrice de la Institutul politehnic Bucureşti, iar ing. *D. Macrea* lucrează la Institutul de proiectări laminoare — Bucureşti.

zute, la aplicabilitatea ei la studiul generatoarelor sincrone şi a comportării acestora în sistemele electroenergetice.

Prima parte a lucrării cuprinde un studiu comparativ al diverselor metode de modelare fizică a generatoarelor sincrone, partea a doua fiind rezervată prezentării rezultatelor teoretice şi experimentale privind modelul criogenic al turbogeneratorului românesc T H A 160.

2. Metode de modelare

Ideea utilizării modelelor de generatoare sincrone în studii aplicative speciale nu e nouă, astfel de instalaţii fiind deja în funcţiune, după cum am spus, în U.R.S.S., Franţa, S.U.A. şi Anglia.

În cadrul modelării sistemelor electroenergetice, partea componentă — care ridică cele mai mari dificultăţi la modelare — este alternatorul, deoarece necesită realizarea unor scări corecte atît pentru parametrii mecanici cît şi pentru cei electrici. Scările de modelare, în prima lor formă, rezultă din criterii de similitudine deduse teoretic, ele urmînd a fi realizate diferit, în funcţie de soluţia constructivă aleasă. În mod evident, se porneşte de la reducerea geometrică la scară a maşinii originale. Se constată însă, conform criteriilor de similitudine, că această soluţie este inacceptabilă fără ca parte din parametrii de bază ai maşinii — cum sînt: densitatea de masă, rezistivitatea, permeabilitatea, — să ia valori sensibil diferite în model. Din nefericire, schimbările cerute sînt toate în direcţii greu de rezolvat şi, în consecinţă, obţinerea unui model corespunzător al maşinii originale nu este posibilă, decît cu condiţia reducerii sensibile a rezistivităţii înfăşurărilor modelului. În funcţie de modul în care este rezolvată această problemă, se poate face o clasificare a posibilităţilor de modelare a generatoarelor sincrone [4], [6], [12]—[16].

Un prim grup de metode, pe care le-am putea denumi „clasice", sînt cele care realizează valorile cerute ale rezistenţelor fie prin realizarea unor modele de dimensiuni foarte mari fie prin introducerea unor dispozitive auxiliare de rezistenţă negativă în serie cu înfăşurările modelului.

Prima metodă presupune proiectarea unei maşini de dimensiuni excesiv de mari. Cu toate că rezistenţele specifice (în unităţi relative) ale statorului şi rotorului pot fi proiectate astfel încît să aibă valorile corecte, pierderile de miez şi pierderile de dispersie sînt sensibil mai mari, în comparaţie cu ale maşinii reale. Mai mult decît atît, dimensiunile ridicate ale rotorului, în acest caz, duc la obţinerea unei constante de inerţie de cîteva ori mai mare decît valoarea dorită impusă prin criteriile de similitudine.

Metoda a doua foloseşte direct maşini sincrone mici fabricate în producţia de serie, realizate cu tole statorice şi rotorice existente. Reactanţele de scăpări pot fi modificate în acest caz prin introducerea de inductanţe în serie cu diferitele înfăşurări, însă nu e posibilă obţinerea pentru circuitele statorice şi rotorice a constantelor de timp dorite, fără utilizarea unor dispozitive de rezistenţă negativă în serie cu înfăşurările respective. Asemenea dispozitive de rezistenţă negativă pot fi folosite cu succes pentru circuitele rotorice, însă nu dau rezultate corespunzătoare în ceea ce priveşte circuitele statorice [4], [12], [15].

A treia metodă cuprinde proiectarea completă a unui model de alternator, cu scopul de a obţine mărimile corespunzătoare prin modelarea tuturor parametrilor mai importanţi. Această metodă duce la o maşină supradimensionată, ea fiind sensibil mai mare ca dimensiuni fizice decît o maşină de aceeaşi putere aflată în comerţ [4], [5], [12].

Prin această a treia metodă pot fi modelate marea majoritate a caracteristicilor alternatorului real, cu excepţia rezistenţei înfăşurării rotorice, care în maşina model are în mod normal o valoare mult mai mare decît cea corectă. În scopul reducerii acestei rezistenţe la o valoare corespunzătoare, pot fi folosite dispozitive de rezistenţă negativă în serie cu înfăşurarea rotorică. Astfel de dispozitive au fost realizate şi au fost folosite cu succes la instalaţii de modelare în U.R.S.S., Franţa, S.U.A.

Ca o succintă concluzie privitoare la cele trei metode prezentate mai sus, putem spune că prima metodă este extrem de neeconomică, atît în ceea ce priveşte construcţia modelului cît şi exploatarea sa, fiind în acelaşi timp şi inexactă; cea de-a doua, deşi puţin costisitoare, este şi ea inexactă, însă poate fi utilizată în cazul unor studii mai puţin pretenţioase, iar cea de-a treia — singura care respectă fidel criteriile de similitudine — pune probleme dificile în ceea ce priveşte realizarea dispozitivelor de rezistenţă negativă.

Un al doilea grup de metode de modelare, de dată foarte recentă, sînt cele care realizează reducerea cerută a rezistivităţii prin utilizarea unor modele destinate să funcţioneze la temperaturi foarte scăzute (—200°C), temperaturi la care rezistivitatea se reduce sensibil. O astfel de temperatură de funcţionare poate fi obţinută prin imersarea modelului într-un vas conţinînd un gaz lichefiat (în cazul nostru, azot lichid) [6].

Această metodă elimină atît problemele legate de supradimensionarea modelului şi cele legate de proiectarea construcţiei, de comanda şi controlul dispozitivelor de rezistenţă negativă cît şi inconvenientul legat de faptul că astfel de dispozitive nu puteau fi introduse în toate circuitele.

Astfel, modelele realizate pe această cale vor prezenta o siguranţă în funcţionare, sporită, fiind şi sub aspect economic mai avantajoase decît cele corespunzătoare primului grup de metode de modelare şi dînd după cum se va vedea, rezultate foarte bune în ceea ce priveşte fidelitatea modelării.

În virtutea avantajelor menţionate mai sus am ales această ultimă soluţie în ceea ce priveşte proiectarea şi realizarea modelului fizic al generatorului sincron THA 160.

Metoda utilizării unei maşini electrice funcţionînd scufundată în azot lichid prezintă de asemenea un deosebit interes, în cazul în care, pentru aplicaţii speciale, se cere să se obţină performanţe relativ importante de la maşini ce trebuie plasate în spaţii reduse.

3. Criterii de modelare şi factori de scară

3.1. *Criterii de similitudine*

Pentru a obţine un model cu performanţe cît mai bune e necesar a fi satisfăcut un număr de criterii de similitudine deduse riguros pe cale teoretică, care trebuie să ţină cont atît de efectele mecanice cît şi de cele electrice şi prin urmare aceste criterii trebuie să se refere la unităţi fundamentale, ca masă, lungime, timp, permeabilitate, rezistivitate şi permitivitate.

Analiza şi modelarea unei maşini electrice poate fi realizată fie pe baza teoriei circuitelor [14], fie pe baza teoriei cîmpului electromagnetic [6], [12]. Totodată trebuie menţionat că un model guvernat de criterii de similitudine obţinute pe baza teoriei cîmpurilor satisface şi cerinţele în ceea ce priveşte similitudinea maşinii ca element al circuitului electric din care face parte. Astfel se obţin criterii de similitudine complete, pornind de la ecuaţiile fundamentale ale electromagnetismului [6], [12].

La studiul şi proiectarea unui model de maşină electrică criteriile de similitudine se utilizează sub o formă derivată şi anume sub forma de factori de scară. Vom prezenta în cele ce urmează obţinerea acestor factori de scară în cazul modelării unei maşini electrice rotative [6].

3.2. Factori de scară

Criteriile de similitudine, care trebuie satisfăcute de construcţia modelului, pot fi exprimate în seturi de unităţi fundamentale (în cazul utilizării teoriei cîmpurilor) sau în seturi de unităţi derivate (în cazul utilizării teoriei circuitelor) [14]. S-a constatat că poate fi făcută o legătură de fond prin utilizarea unităţilor de permeabilitate magnetică μ, conductivitate electrică σ, permitivitate electrică ε, densitate ρ, lungime caracteristică l şi timp t, astfel încît să fie direct asociate cu proprietăţile materialelor pe care le utilizăm.

3.3 Factorul de scară al puterii

Dată fiind puterea extrem de ridicată a turbogeneratoarelor actuale (în cazul turbogeneratorului THA 160, 160 MW), este evident esenţial că factorul de scară al puterii trebuie astfel ales încît puterea solicitată să fie redusă. S-a preferat, din această cauză, considerarea în primul rînd a acestui factor de scară.

Dimensiunile puterii pot fi exprimate ca produsul puterilor celor şase unităţi considerate mai sus, după cum urmează:

$$(P) = (\mu^a\ \sigma^b\ \varepsilon^c\ \delta^d\ l^e\ t^f). \tag{1}$$

Scriind expresiile din dreapta şi stînga relaţiei (1), ca termeni ai unităţilor uzuale de masă, m, lungimea l, timp t şi permeabilitate magnetică μ,

$$(m^1 l^3 t^{-3}) = (\mu^a\ l^{-2b}\ t^b\ \mu^{-b}\ l^{-2c}\ t^{2c}\ \mu^c m^d\ l^{-3d}\ l^e\ t^f),$$

ecuaţiile de indici care rezultă sînt:

$$a = b+c; d = 2; e = 5+2b+2c; f = -3-b-2c.$$

Deci, rezultă pentru P:

$$(P) = (\mu^{b+c}\ \sigma^b\ \varepsilon^c\ \delta\ l^{5+2b+2c}\ t^{-3-2c-b}). \tag{2}$$

Întrucît b şi c rămîn nedeterminaţi, soluţia generală poate fi scrisă:

$$\frac{Pt^3}{\delta l^5} = \left[\frac{\mu\sigma l^2}{t}\right]^b \cdot \left[\frac{\mu\varepsilon l^2}{t^2}\right]^c. \tag{3}$$

Ecuaţia obţinută indică faptul că dacă un model de alternator e construit avînd aceeaşi distribuţie spaţială a permabilităţii magnetice, conductivităţii electrice şi permitivităţii electrice, relaţia $Pt^3/\delta l^5$ pentru un punct dat în model va trebui să fie aceeaşi cu cea a punctului corespunzător în maşina originală, cu condiţia ca $\mu\sigma l^2/t$ şi $\mu\varepsilon l^2/t^2$ să fie aceleaşi în model, precum şi în maşina originală. Ca expresii de factori de scară, cele două relaţii pot fi scrise:

$$K_\mu K_\sigma = \frac{K_t}{K_l^2} \quad (4) \quad \text{şi} \quad K_\mu K_\varepsilon = \frac{K_t^2}{K_l^2}. \tag{5}$$

Dacă ecuaţiile (4) şi (5) sînt satisfăcute pentru orice model, în toate punctele de spaţiu şi la toate momentele de timp, modelul e absolut similar cu maşina originală.

Considerînd ecuaţiile (3), (4) şi (5), rezultă că factorul de scară pentru putere este dat de:

$$K_p = K_\delta K_1^5 / K_t^3. \tag{6}$$

Ecuaţiile determinate mai sus, sînt criterii de similitudine complete şi ţin sea-

mă de curenţii de conducţie şi cîmpurile neradiante (4) şi de curenţii de deplasare şi cîmpurile radiante. (5). Cînd ultimii doi factori pot fi neglijaţi, ceea ce se întîmplă în maşinile electrice e suficient să fie satisfăcută ecuaţia (5).

Factorii de scară pentru celelalte mărimi prezentaţi în tabela 1 au fost obţinuţi pe baza relaţiilor clasice de legătură.

Tabela 1

Mărimea	Factorul de scară	Relaţia din care derivă
Lungime l	K_l	Similitudine geometrică
Frecvenţă f	$\frac{1}{K_t}$	$f = \frac{1}{t}$
Rezistenţă R	$1/K_l\, K_\sigma$	$R = 1/\sigma_A$
Reactanţă X	$1/K_l\, K_\sigma$	$X = R$
Inductivitate L	$K_l/K_l\, K_\sigma$	$X = \omega L$
Putere P	$K_\delta\, K_l^5/K_t^3$	ecuaţia (6)
Tensiune U	$K_\delta^{\frac{1}{2}}\, K_l^2/K_\sigma^{\frac{1}{2}} K_t$	$P = U^2/R$
Curent I	$K_\delta^{\frac{1}{2}}\, K_l^3\, K_\sigma^{\frac{1}{2}}/K_t$	$P = I^2 R$
Inducţie B	$K_\delta^{\frac{1}{2}}/K_\sigma^{\frac{1}{2}}$	$U = K f \Phi$
Intensitatea cîmpului magnetic H	$\frac{K_\delta^{\frac{1}{2}}\, K_l^2\, K_\sigma^{\frac{1}{2}}}{K_t}$	$H = \frac{NI}{l}$

4. Alegerea factorilor de scară pentru modelul turbogeneratorului THA — 160

După cum se observă din tabela 1 diverşii factori de scară ai mărimilor nominale depind de factorii de scară ai mărimilor fundamentale t, δ, l, σ, μ.

a) *Factorul de scară al timpului* k_t

Din relaţia (6) rezultă că pentru a realiza un model de putere cît mai redusă, una dintre cerinţe este ca factorul de scară al timpului să fie supraunitar, constantele de timp ale modelului devenind în acest caz mai mari decît cele din maşina originală. Acest lucru ar echivala cu necesitatea unei scăderi de rezistivitate şi mai mare decît cea obţinută prin metoda propusă, fapt care ne împiedică să lucrăm cu factori de scară pentru timp supraunitar, factorul 1 fiind evident cel mai convenabil. Acest lucru echivalează cu conservarea pe model a constantelor de timp ale maşinii originale.

b) *Factorul de scară al densităţii de masă* k_δ

Deoarece materialele din care se realizează modelul au practic aceleaşi densităţi de masă cu materialele utilizate în construcţia maşinii originale, este evident că factorul de scară al densităţii de masă k_δ nu poate fi altul decît unitatea $k_\delta = 1$.

c) *Factorul de scară al dimensiunilor* k_l

Deoarece factorii de scară ai timpului şi ai densităţii de masă trebuie să fie egali cu unitatea, factorul de scară al puterii este dependent numai de dimensiunile fizice ale modelului. Pentru un model de putere cît mai redusă este de dorit un factor de scară al dimensiunilor k_l cît mai mic, ceea ce impune conform relaţiei (5) factori de scară ai conductivităţii electrice şi permeabilităţii magnetice cît mai ridicaţi.

d) *Factorul de scară al conductivităţii electrice* k_σ

După cum am arătat mai sus se doreşte un factor de scară al conductivităţii electrice cît mai mare, ceea ce în cadrul metodei adoptate se poate obţine prin utilizarea criogeniei sau supraconductivităţii. Utilizarea unor modele supraconductive nu este justificată în cazul de faţă datorită dificultăţilor tehnice şi economice legate de manipularea heliului lichid, soluţia imersării în azot lichid, după cum se va vedea, conducînd la rezultate satisfăcătoare.

Dintre toate materialele conductoare cuprul are conductivitatea cea mai ridicată la temperaturi de ordinul — 196°C (temperatura de fierbere a azotului lichid) şi ca urmare este cea mai bună soluţie pentru realizarea înfăşurărilor modelului dorit. Raportul dintre conductivitatea cuprului la temperatura de fierbere a azotului lichid şi cea la 20°C este egal cu 8,5 ajungînd la 9,5 ÷ 10 pentru temperaturi de funcţionare curente ale maşinilor electrice 75 ÷ 100°C.

Ca urmare, se adoptă un factor de scară k_σ 8,5, restul factorilor de scară fiind determinaţi de această alegere.

e) *Factorul de scară al permeabilităţii magnetice* k_μ

Pentru a obţine un model corespunzător atît în regim staţionar cît şi în regim dinamic, materialul magnetic utilizat prezintă o curbă de magnetizare care, în condiţiile impuse de criteriile de similitudine, aproximează cît mai fidel pe cea a fiecărui din maşina originală. Turbogeneratorul original utilizează ca materiale feromagnetice tola silicioasă ARMCO M 6 X pentru miezul statoric şi oţelul electrotehnic pentru rotor. Tola ARMCO M 6 X este un material cu proprietăţi magnetice superioare ($\mu_r = 32\,000$, $p_0 = 0{,}47$ W/kg la $B = 1$T şi $f = 50$ Hz) şi materialul utilizat pentru model trebuie ales în mod corespunzător. Există materiale accesibile cu permeabilităţi sensibil mai mari, însă condiţia de bază a fost după cum am spus, cea legată de curba de magnetizare. Materialul magnetic MUMETAL satisface foarte bine această cerinţă pentru un factor de scară $k_\mu = 8{,}5$ [6]. Rotorul care în regim normal funcţionează nesaturat, poate fi realizat ca

şi cel al maşinii originale tot din oţel electrotehnic.

Legat de factorii de scară determinaţi trebuie menţionat că valorile alese pentru factorii k_μ, k_σ etc. trebuiesc aplicate la toate materialele folosite în scopul de a asigura căi de flux şi de curent corecte. Astfel, pentru a avea o repartiţie similară a tensiunilor magnetice pe model şi pe original este necesar ca şi permeanţa întrefierului să fie în aceeaşi măsură crescută ca aceea a miezurilor. Deoarece azotul lichid are aceeaşi permeabilitate magnetică cu a aerului pentru a realiza efectul de creştere corespunzătoare a permeabilităţii întrefierului este necesar ca lărgimea acestuia să fie scăzută suplimentar, faţă de reducerea geometrică la scară cu un factor egal cu factorul de scară al permeabilităţilor (8,5).

În final, din relaţia (5) rezultă pentru factorul de scară al dimensiunilor o valoare $k_l = 8{,}5$.

În concordanţă cu valorile alese pentru k_l, k_δ, k_l, k_σ, k_μ, dăm în tabela 2 valorile factorilor de scară ai mărimilor nominale ale modelului.

Tabela 2

Mărime	Valoarea factoruui de scară
Lungime l	1/8,5
Frecvenţă f	1
Rezistenţă R	1
Reactanţă X	1
Inductivitate L	1
Putere P	$1/8{,}5^5$
Tensiune U	$1/8{,}5^{\frac{5}{2}}$
Curent I	$1/8{,}5^{\frac{5}{2}}$
Inducţie magnetică B	$1/8{,}5^{\frac{1}{2}}$
Intensitatea cîmpului magnetic H	$1/8{,}5^{\frac{3}{2}}$

5. Mărimile nominale şi parametrii modelului turbogeneratorului THA 160

5.1 Mărimi nominale

În concordanţă cu factorii de scară corespunzători mărimilor fundamentale prezentaţi în capitolul anterior şi cu expresiile factorilor de scară ai mărimilor nominale caracteristice unei maşini electrice, s-au obţinut pentru mărimile nominale ale modelului valorile indicate în tabela 3.

Observaţie

Tensiunile de lucru ale unui model utilizînd înfăşurări cu acelaşi număr de spire ca originalul ar fi trebuit să fie destul de reduse, iar curenţii corespunzători destul de intenşi. Aceasta ar prezenta un inconvenient în special în circuitul de excitaţie unde ar fi necesară o sursă de alimentare de 1,35 V/10,5 A cu o impedanţă internă mai mică de 0,0152Ω. În consecinţă, s-a admis ca toate înfăşurările să fie realizate cu un număr de spire de şase ori mai mare decît în maşina originală. Pentru a obţine numărul cerut de spire fără a modifica dimensiunile modelului trebuiesc utilizate conductoare cu o arie de şase ori mai mică decît cea rezultată din reducerea geometrică la scară. O astfel de soluţie nu reprezintă o îndepărtare de la reducerea ideală la scară a dimensiunilor deoarece deşi modifică factorii de scară ai tensiunilor, curenţilor şi impedanţelor, lasă neschimbaţi parametrii raportaţi, constantele de timp şi caracteristicile modelului.

Tabela 3

Mărime	Turbogenerator original	Model
Putere P [kW]	160.000	3,6
Putere RpS [kVA]	188.000	4,5
Tensiune U_f [V]	15.750	450
Curent I_f [A]	6.900	5,45
Factor de putere	0,85	0,85
Frecvenţa [H_z]	50	50
Turaţie [rot./min.]	3.000	3 000
Tensiune ex [V]	284	8,1
Curent ex [V]	2.205	1,75

5.2 Parametrii modelului

Pornind de la aceste valori ale mărimilor nominale ale modelului determinate în perfectă concordanţă cu criteriile de similitudine transpuse sub forma factorilor de scară s-a făcut calculul parametrilor şi determinarea caracteristicilor modelului folosind ca linie directoare metoda clasică de proiectare a maşinilor sincrone şi avînd în vedere condiţiile specifice impuse de funcţionarea în azot lichid.

Într-o primă fază de calcul nu toate valorile parametrilor modelului au corespuns valorilor impuse prin criteriile de similitudine, mai precis valoarea reactanţei de scăpări statorice a modelului era sensibil redusă faţă de cea impusă prin criteriile de similitudine. Acest fapt afecta în mod evident şi valorile altor parametri ai modelului. Valoarea redusă obţinută pentru reactanţa de scăpări este perfect explicabilă deoarece la maşina originală apăreau dispersii importante în piesele de strîngere şi consolidare a barelor statorice, dispersii care nu mai apar în model.

Pentru că nu avem posibilitatea obţinerii pe cale naturală a reactanţei de scăpări dorite, adică acţionînd asupra dimensiunilor modelului sau asupra crestăturilor s-a realizat valoarea cerută pe cale artificială şi anume prin introducerea în serie cu fiecare fază statorică a unei bobine de reactanţă astfel dimensionată încît valoarea globală a reactanţei de scăpări pe fază să fie cea dorită.

În mod evident şi aceste bobine urmează a fi imersate în azot lichid pentru ca valoarea

rezistenţei pe care ele o introduc în circuitul statoric al modelului să fie neglijabilă.

S-a avut în vedere posibilitatea unei ajustări a unei părţi a parametrilor modelului (reactanţe, constante de timp) şi implicit a caracteristicilor şi după realizarea practică a acestuia, prin prevederea unei conicităţi între stator şi rotor, lucru care face posibilă o variere a lărgimii întrefierului prin deplasarea axială a statorului modelului faţă de rotor (figura 1).

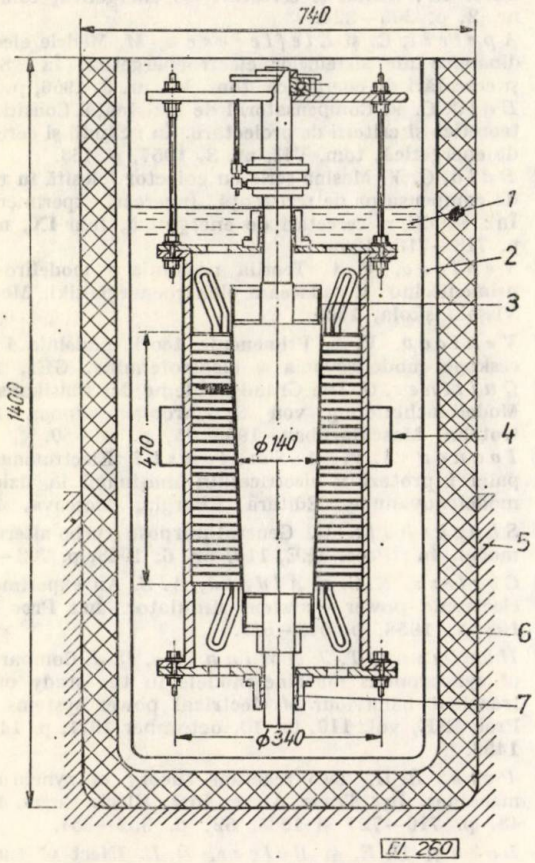


Fig. 1. Modelul criogenic al generatorului THA—160 :
1 — nivelul azotului lichid, *2* — vas Dewar, *3* — manşon de protecţie, *s* — bobină de reactanţă, *5* — suport, *6* — perete termoizolant, *7* — lagăr din politetrafluoretilenă.

Cu observaţiile menţionate mai sus, valorile obţinute pentru parametrii şi constantele de timp ale modelului, comparativ cu valorile impuse prin criteriile de similitudine, sînt cele indicate în tabela 4.

6. Încercări experimentale

Încercările experimentale au fost realizate în scopul verificării variaţiei rezistivităţii cuprului cu temperatura, a pierderilor şi permeabilităţii fierului (tole şi miez masiv) a comportării fizico-chimice a diverselor materiale electrotehnice utilizate în construcţia modelului propus şi, de asemenea, în scopul verificării comportării din punct de vedere mecanic a unei maşini electrice de mică putere imersată în

Tabela 4

Mărime	Valoare impusă prin criterii de similitudine	Valoare de model
Rezistenţă stator r_1	0,00112 u.r.	0,001182 u.r.
Reactanţă de scăpări stator x_1	0,176 u.r.	0,176 u.r.
Reactanţă longitudinală x_{ad}	1,926 u.r.	2 u.r.
Reactanţă sincronă x_d	2,1 u.r.	2,176 u.r.
Rezistenţă excitaţie r_e	0,00148 u.r.	0,00143 u.r.
Reactanţă scăpări excitaţie $x_{\tau e}$	0,16 u.r.	0,1545 u.r.
Reactanţă tranzitorie x'_d	0,326 u.r.	0,32 u.r.
Reactanţă supratranzitorie x''_d	0,212 u.r.	0,2012 u.r.
Reactanţă inversă x_2	0,22 u.r.	0,2 u.r.
Reactanţă homopolară x_0	0,102 u.r.	0,0933 u.r.
Constanta de timp a circuitului de excitaţie T_0	4,66 s	4,78 s
Constanta de timp tranzitorie T'_d	0,716 s	0,703 s
Constanta de timp supratranzitorie T''_d	0,024 s	0,0223 s
Pierderi în fier P_{Fe}	6,2 w	7,8 w
Pierderi în înfăşurări P	32 w	36,5 w
Randament η	98,65	97,9

azot lichid, funcţionînd la o turaţie de 3 000 rot/min.

La temperatura de —196°C conductivitatea cuprului electrotehnic a crescut de 8,35 ori (faţă de 8,5 adoptată), pierderile în tole au crescut de 1,39 ori, valoarea permeabilităţii miezului conservîndu-se şi la această temperatură.

Lagărele de alunecare de bronz, degresate şi uscate au dat satisfacţie, pierderile mecanice şi hidraulice fiind în limite acceptabile.

Materialele utilizate, conductor de cupru emailat, tolă laminată la rece, preşpan, pertinax, bumbac, hîrtie, politetrafloretilenă, nu au prezentat nici un fel de modificări fizico-chimice în urma imersării în azot lichid, ceea ce face posibilă utilizarea lor în realizarea modelului.

7. Concluzii

Metoda imersării în azot lichid permite respectarea întocmai a criteriilor de similitudine impuse de conservarea pe model a repartiţiei cîmpului electromagnetic din maşina originală, parametrii obţinuţi fiind foarte apropiate de cei impuşi. În plus soluţia propusă realizează o modelare satisfăcătoare şi a caracteristicilor mecanice, ceea ce permite obţinerea pe ansamblu a unui model aproape ideal (figura 2).

Spre deosebire de modelele cu rezistenţa negativă cu dispozitive electronice serie, instabile în funcţionare, care nu permit compensarea înfăşurărilor de amortizare, modelul propus reprezintă o soluţie sigură, care realizează o scă-

dere corespunzătoare a rezistenţelor tuturor înfăşurărilor, nu este influenţat de variaţiile de temperatură datorită modificării sarcinii, fiind avantajos din punct de vedere economic şi tehnic.

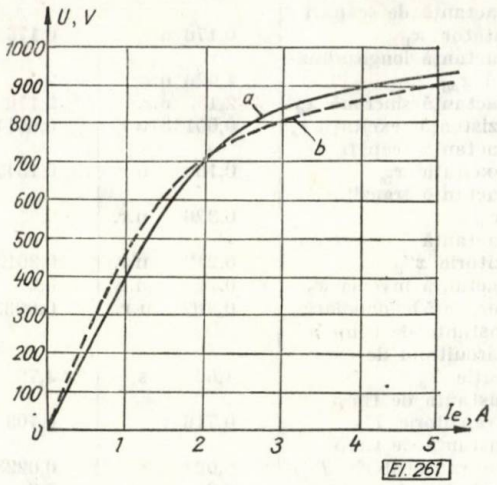


Fig. 2. Caracteristica de mers la gol pentru modelul ideal (a) şi cel real (b).

Realizarea mai multor unităţi de acest gen permite cu uşurinţă modelarea unui sistem electromagnetic real, scop final al autorilor articolului de faţă.

Bibliografie

[1] *Coustère, A.* Nouvelles recherches dans le domaine de la construction des générateurs synchrones. Conferinţă. Institutul politehnic Bucureşti, 22 septembrie 1972.

[2] *Venicov V. A., Ivanov* şi *Smolenski A. V.* Fiziceskoe modelirovanie elektriceskih sistem. G E I, 1956.

[3] *Kostenko, M. P.* Elektrodinamiceskoe modelirovanie energheticeskih sistem. Izd. A.N. S.S.S.R., 1959.

[4] *Hammons, T. J.* şi *Parsons A. J.* Design of microalternator for power — system — stability investigations. În: Proc. IEE, vol. **118**, nr. 10, oct. 1971, p. 1421—1441.

[5] *Robert, R.* Micromachines et microréseaux: études des problèmes de stabilité transitoire par la réalisation de modèles èlectromécaniquement semblables aux machines et réseaux existants. CIGRE, Raport nr. 338, 1950.

[6] *Jefferies, M. J.* şi *Wright A.*, New approach to micromachine construction. În: Proc. IEE, vol. **117**, nr. 7, iulie 1970, p. 1309—1316.

[7] *Vajnov, A. I.*, şi *Razovski, I.A.* şi *Salita P.Z.* Electrodinamiceskaia model energosistem. GEI, 1961.

[8] *Sprînceană, N.* În legătură cu modelarea electrodinamică a regulatoarelor de viteză ale turbinelor hidraulice. În: Studii şi cercetări de energetică, tom **IX**, nr. 2, p. 305—324.

[9] *Apetrei, C.* şi *Eleftérescu, M.* Modele electrodinamice ale sistemelor electroenergetice. În: Studii şi cercetări de energetică, tom. **VI**, nr. 3, 1956, p. 311.

[10] *Bălă, C. V.* Compensatorul de rezistenţă. Consideraţii teoretice şi criterii de proiectare. În: Studii şi cercetări de energetică, tom. VII, nr. 3, 1957, p. 463.

[11] *Bălă, C. V.* Maşina serie cu colector folosită în regim de compensator de rezistenţă. Încercări experimentale. În: Studii şi cercetări de energetică, tom **IX**, nr. 4, p. 713—718, 1959.

[12] *Venicov, V. A.* Teoriia podobiia i modelirovanie primenitelno k zadaceam elektroenerghetiki. Moskva Visşaia şkola, 1966.

[13] *Venicov, V. A.* Primenenie teorii podobiia i fiziceskogo modelirovania v electrotehnike, GEI, 1949.

[14] *Quittner, G.* Die Grundprobleme der Phisikalischen Modellnachbildung von Synchrongeneratoren. Electrotehn. Maschinenbau, 1958 75, p. 45—50.

[15] *Ivanov A. V.* şi *Smolenski* Electromagnetie palia i protezi v electriceskih maşinami ih fizicovie modelenovannoe. Editura Energia, Moscova, 1970.

[16] *Shackshaft, G.* General-purpose turbo-alternator model. În: Proc. IEE, 110, nr. 6, 1963, p. 703—713.

[17] *Corless, K. G.* şi *Aldred, A. S.* An experimental electronic power — system simulator. În: Proc IEE, 105 A, 1958, p. 503—511.

[18] *Hammons, T. J.* şi *Winning, D. J.* Comparisons of synchronous machine models in the study of the transient behaviour of electrical power systems. În: Proc IEE, vol. **118**, nr. 10, octomber 1971, p. 1442—1458.

[19] *Park, R. H.* Two reaction theory of synchronous machines. În: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs, 1929, 48, p. 716—727 şi 1933, 52, p. 352—354.

[20] *Lokay, H. E.* şi *Bolger, R. L.* Efect of turbine generator representation in system stability studies. În: IEEE Trans. 1965, PAS—84, p. 933—941.

Intrat în redacţie la 4.I.1973

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE

Motor electric sincron de 10500 kW

Printre produsele de înaltă tehnicitate fabricate de specialiştii Întreprinderii de construcţii de maşini — Reşiţa se numără şi motorul electric sincron de 10.500 kW, primul de acest gen construit în ţara noastră. Realizat recent cu cîteva zile înainte de termenul stabilit prin plan, noul motor electric este destinat acţionării unor pompe din cadrul Complexului hidroenergetic de la Lotru. El are parametri tehnici, constructivi şi funcţionali superiori, materializaţi prin gabarit redus, faţă de puterea nominală, sistemul de izolaţie termorigidă şi consolidările bobinajelor cu materiale de mare rezistenţă, care asigură exploatarea motorului la temperaturi ridicate, cu pierderi minime de electricitate. În perioada care a trecut de la începutul cincinalului actual şi pînă acum, la întreprinderea reşiţeană, au fost asimilate un număr de 41 tipodimensiuni de motoare electrice de mare putere, necesare industriei siderurgice, industriei cimentului, pentru echiparea unor termocentrale şi, de asemenea, pentru sistemele de irigaţii din agricultură şi alte ramuri. După cum vedem, economia românească îşi rezolvă tot mai mult problemele de dotare tehnică cu produse din cele mai perfecţionate, de fabricaţie indigenă.

C.A.

Motoare asincrone monofazate cu faza auxiliară capacitivă

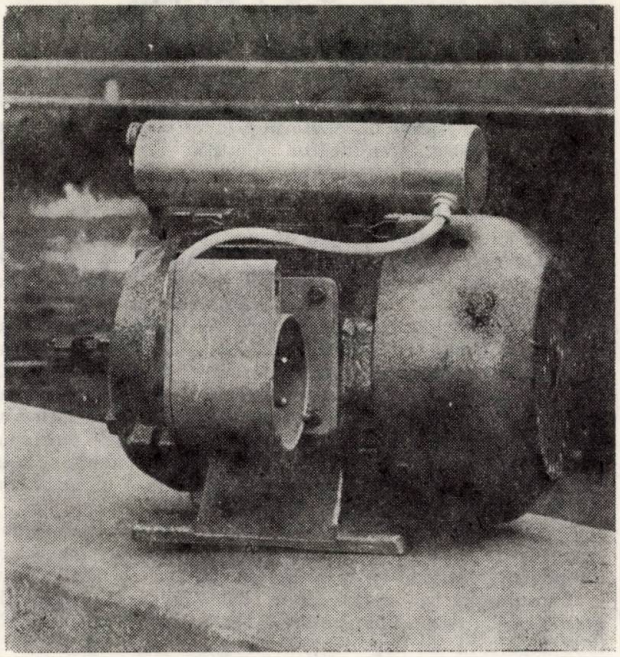
Dotarea economiei naţionale cu utilaje şi aparate de construcţie românească reprezintă una din problemele de mare importanţă pe care trebuie să le rezolve întreprinderile constructoare de maşini. În acest scop, uzina „Electromotor" din Timişoara şi-a propus şi în acest an să livreze beneficiarilor o serie de produse de concepţie proprie. Printre acestea, se distinge întreaga gamă de motoare asincrone monofazate închise, cu rotorul în scurcircuit, cu faza auxiliară capacitivă, destinate pentru utilizare în acţionările cele mai diverse, cum sînt de pildă, maşinile-unelte, pompele, ventilatoarele etc., atît din marile unităţi industriale, cît şi din micile ateliere, care nu dispun decît de reţea monofazată.

Din această gamă variată de produse, oferite pentru prima dată de industria indigenă, respectiv de întreprinderea „Electromotor—Timişoara", fac parte tipurile: AMI - cu condensator de lucru conectat permanent şi AMIR — cu condensator de pornire deconectat după perioada pornirii, de către un releu (vezi fig.).

Utilajele se comportă excepţional, avînd puterile cuprinse între 0,12 kW—2,2 kW, cu turaţii în gama a 1500 rot/min şi 3000 rot/min, sincrone. Acea stă serie de motoare acoperă gabaritele 71, 80, 90 şi 100.

Datorită tensiunii de alimentare de 220 V la 50 Hz se crează posibilitatea de utilizare a acestor produse de către un număr foarte larg de beneficiari.

Gh. C



Accesorii pentru cabluri de energie de medie tensiune

Accesoriile de cabluri constituie, ca şi cablurile propriuzise, elemente componente principale ale reţelelor electrice. Cu ele sînt echipate: cabluri impregnate cu masă consistentă; cabluri termic stabile (cu circulaţie de ulei, cu ulei sub presiune, cu circulaţie de gaz); cablurile izolate cu materiale termoplastice (policlorură de vinil, polietilenă, etilenpropilenă, polietilenă reticulată, ş.a.).

Aceste accesorii pot fi metalice sau din răşini sintetice turnate (manşoane de joncţiune, capete terminale, manşoane de derivaţie). (fig. 1). Ele se conectează la reţele electrice direct, prin izolatoare de trecere sau conuri deflectoare. Pentru a putea funcţiona în bune condiţii, accesoriile de cabluri trebuie protejate împotriva coroziunii chimice, prin nvelişuri anticorozive corespunzătoare.

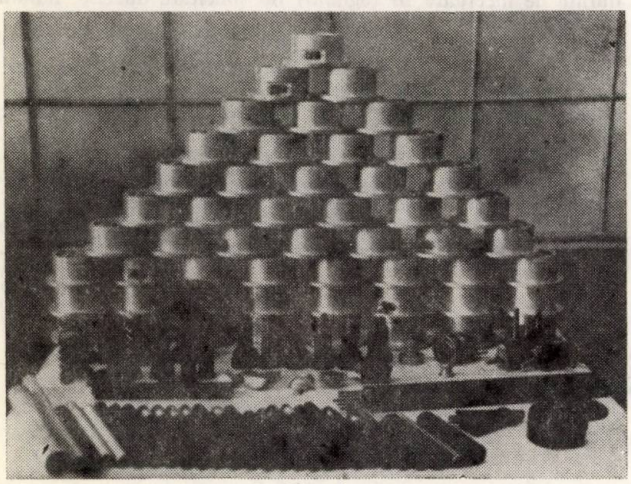


Fig. 1

Pe baza cercetărilor efectuate în ICPE în colaborare cu ICENERG au fost definitivate mai multe tipuri constructive de accesorii care sînt prezentate mai jos.

Accesorii pentru cabluri izolate cu hîrtie impregnată. În această grupă au fost elaborate capete terminale care conectează cablurile cu liniile electrice aeriene, prin intermediul izolatoarelor de porţelan. S-au executat pentru tensiuni pînă la 30 kV, în cele mai multe cazuri din răşini epoxidice de turnare. Manşoanele de joncţiune din această grupă s-au confecţionat din diferite tipuri şi pentru tensiuni cuprinse între 1 şi 30 kV.

Accesorii pentru cabluri izolate cu materiale plastice. O dată cu noile materiale termoplastice cu care se izolează în prezent cablurile electrice, au fost asimilate tipuri noi de accesorii, cu multiple posibilităţi, din răşini expoxidice de turnare: pentru cabluri izolate cu PVC şi linii de 1—30 kV se utilizează accesorii de cabluri, turnate, din răşini epoxidice. Conectarea accesoriilor din răşini epoxidice s-a făcut direct, iar etanşeizarea lor s-a realizat cu benzi adezive din PVC care se matisează pe aceste accesorii; pentru cabluri izolate cu polietilenă şi polietilenă reticulată de 1—30 kV. Polietilena fiind relativ puţin stabilă la temperatură peste 100°C, a fost necesar ca accesoriile să ţină seama de această condiţie, în care scop, au fost conectate la cablurile izolate cu polietilenă prin etanşeitate ulterioară cu benzi adezive. Capetele terminale s-au confecţionat din răşini epoxidice, iar etanşeitatea a fost asigurată prin benzi adezive din PVC, cauciuc siliconic sau masă poliuretanică.

Caracteristici mecanice: rezistenţa la tracţiune, compresiune şi încovoiere.

Caracteristicile electrice ale accesorilor (rigiditatea dielectrică factorul de pierderi, rezistenţa de volum şi de suprafaţă, constanta dielectrică, stabilitatea la ozon, rezistenţa la impulsul de tensiune şi de curent) se înscriu în normele internaţionale VDE şi CEI.

Caracteristici termice (stabilitate la căldură şi ardere, conductibilitate termică corespunzătoare) corespund normelor CEI.

Înainte de montaj accesoriile au fost supuse la încercări de anduranţă termică şi electrică, sub forma unor cicluri de îmbătrînire accelerată.

C. C.

TEZE DE DOCTORAT

Aurelian Crăciunescu: **Studiul procesului de magnetizare a unor materiale feromagnetice în regim variabil, cu aplicaţii la regimul tranzitoriu al unor elemente ale circuitelor magnetice.** Conducător ştiinţific — Acad. prof. dr. docent ing. Remus Răduleţ.

Cunoaşterea aprofundată a modului de desfăşurare a procesului de magnetizare, care are loc în materialele fero-şi ferimagnetice, sub influenţa unui cîmp magnetic variabil în timp, prezintă un interes deosebit pentru tehnica actuală. În prezent, există încă discuţii referitoare la mecanismele prin care are loc schimbarea stării de magnetizare a unui corp, atunci cînd se modifică valorile parametrilor externi. La miezurile magnetice realizate din anumite tipuri de ferită, sau de panglici, ori fire feromagnetice, cu grosimi de ordinul zecilor de microni, se constată unele fenomene de întîrziere a variaţiei în timp a magnetizaţiei, precum şi unele fenomene de disipare a energiei, care nu se pot explica admiţînd doar existenţa curenţilor turbionari aşa cum se face în cazul corpurilor masive cu conductibilitate mare.

Teza de doctorat prezintă studiul procesului de magnetizare în regim variabil pentru cazul materialelor magnetice neomogene. Modelul original folosit în lucrare pentru studiul proceselor de magnetizare din materialele magnetic neomogene a permis autorului să elaboreze o teorie unitară, bine verificată de experienţele cunoscute pînă în prezent; prin teoria dezvoltată au fost elucidate şi unele fenomene pe care modelele cunoscute pînă acum nu le puteau explica. Rezultatele obţinute prezintă interes atît pentru cei care se ocupă de elaborarea materialelor magnetice, cît şi pentru cei care se ocupă de utilizarea acestor materiale. Susţinerea publică a tezei de doctorat a avut loc la data de 2 martie 1973, în cadrul Facultăţii de Electrotehnică a Institutului politehnic din Bucureşti.

Prof. dr. ing. *Gh. Horlopan*

Ionescu, Cornelia: **Contribuţii teoretice şi experimentale la studiul curenţilor cvasistaţionari în conductoare masive drepte.** Conducător ştiinţific — Acad. prof. dr. docent Remus Răduleţ.

Teza studiază diverse aspecte legate de ecranarea electromagnetică a conductoarelor masive drepte, parcurse de curenţi cvasistaţionari de mare intensitate. Ecranele se asimilează cu pereţi subţiri; din rezolvarea problemei de cîmpuri, exterioare conductoarelor masive, se urmăreşte determinarea unor mărimi globale de interes practic: pierderile de putere în conductoare şi forţele electromagnetice exercitate asupra acestora. Se face un studiu comparativ, teoretic şi experimental, pentru diverse moduri de ecranare, în regim permanent, şi în regim tranzitoriu; de asemenea, se iau în consideraţie diferite tipuri de avarii. Se urmăreşte stabilirea unor relaţii de calcul al forţelor electrodinamice, utile în munca de proiectare.

Printre contribuţiile originale ale tezei de doctorat se menţionează: analiza cîmpului electromagnetic; a forţelor şi pierderilor în regim permanent sinusoidal, pentru sisteme de bare trifazate ecranate în comun, pentru diverse tipuri de ecrane, diferite aşezări ale conductoarelor de fază în ecran; s-au analizat, de asemenea, mai multe tipuri de avarii studiul regimului tranzitoriu pentru ecran cilindric comun, pentru diverse aşezări ale conductoarelor în interior, la tipuri diferite de avarii; studiul solicitărilor electrodinamice în regim tranzitoriu, în sistemele de bare ecranate individual cu ecrane cilindrice circulare; stabilirea pe cale analitică şi verificarea pe cale experimentală (în ipoteza perfectei conductivităţi a ecranului) a eforturilor electrodinamice în sisteme de bare ecranate electromagnetic; elaborarea unor relaţii şi metode de calcul al forţelor, care prezintă utilitate în munca de proiectare. În cadrul lucrării au fost efectuate numeroase determinări experimentale în scopul verificării rezultatelor obţinuc. Concluziile reliefate în lucrare, împreună cu relaţiile cantitative obţinute, constituie o contribuţie substanţială la îmbunătăţirea proiectării sistemelor de bare ecranate. Susţinerea publică a tezei a avut loc în luna ianuarie 1973, în cadrul Facultăţii de Electrotehnică a Institutului Politehnic Bucureşti.

Dr. ing. *F. Spinei*

Ionel Râulescu: **„Durata de viaţă a condensatoarelor electrolitice şi cu hîrtie.**

Lucrarea completează cu un volum de informaţii noi şi utile, domeniul atît de dezbătut al duratei de viaţă a unor scheme de izolaţie, localizat la condensatoarele electrolitice şi cele cu hîrtie. Pornind de la fizica defectării materialelor izolante şi a mecanismului corespunzător — declanşat după depăşirea unui prag — autorul dezvoltă un model matematic complex, care explică logic posibilitatea de cumulare a factorilor de îmbătrînire (electrici, termici, chimici, mecanici) al căror efect global — degradarea dielectricului — nu permite în cele mai multe cazuri şi o separare a efectelor produse de fiecare.

Modelul matematic dezvoltat este general, din aceasta derivînd, pentru domenii limitate de temperatură, modele cu valabilitate mai restrînsă, cum ar fi cele ale lui Arrhenius, Montsinger sau Dakin. Se deduc date importante pentru tehnologia viitoare a încercărilor: echivalenţa unor durate de încercare în regimuri de solicitare diferite, modul de cumulare a efectelor privind durata de viaţă şi necoincidenţa obligatorie — în momentul străpungerii — a diverşilor factori. Rezultă, astfel, baza pentru efectuarea încercărilor forţate, limitele fundamentale de anduranţă şi solicitare, timpii comprimaţi de încercare şi posibilitatea de reducere a probelor. Buna concordanţă dintre datele teoretice şi cele experimentale, lasă să se prevadă largi posibilităţi de aplicare a rezultatelor tezei în procesul de fabricaţie a unor componente de mare importanţă pentru industria electrotehnică şi electrică, posibilităţi materializate în aparate, scheme şi metodici de o mare valoare ştiinţifică.

Dr. ing. *Florin Tănăsescu*

RECENZII

Curs pentru pregătirea muncitorilor metrologi autorizaţi. Bucureşti, Editura tehnică, 1972

Cursul pentru pregătirea muncitorilor metrologi autorizaţi, apărut sub auspiciile Inspectoratului General de Stat pentru Controlul Calităţii Produselor, se adresează de fapt reparatorilor de aparate de măsură şi control, specialitate care în domeniul metrologiei este încadrată în reţeaua muncitori.

Pregătirea de reparatori, care sînt muncitori de înaltă calificare, s-a făcut în economie în funcţie de gradul de organizare a compartimentului metrologic, fie prin reprofilarea unor muncitori cu meserii apropiate, fie prin recrutarea de ucenici şi instruirea lor, pe lîngă specialişti cu o bogată experienţă practică. De aceea, rolul acestei lucrări este de a pune la dispoziţie atît viitorilor reparatori, cît şi celor cu experienţă, noţiuni minimale obligatorii pentru înţelegerea fenomenelor şi a modalităţilor moderne de reparare în contextul bazelor teoretice ale metrologiei. Lucrarea este utilă şi şefilor de ateliere şi metrologilor şefi care conduc instruirea acestor reparatori, deoarece constituie jaloane necesare stabilirii nivelului de predare a volumului de informaţii minimale cu care reparatorii trebuie să se prezinte la examenul de autorizare.

Lucrarea conţine 12 capitole şi începe cu noţiunile fundamentale de metrologie, care cuprind problemele terminologiei metrologice, elemente de teoria erorilor, metode generale de măsurare, precum şi clasificarea şi caracteristicile instrumentelor de măsurat.

În capitolele 2,3,4,5,7 şi 8 sînt tratate probleme de tehnica măsurării şi instrumentele de măsurat din domeniile mecanice (lungimi, suprafeţe, unghiuri, mase, volume, presiuni, debite, forţe, rezistenţa mecanică a materialelor şi cinematice).

Principalele mărimi fizico-chimice referitoare la determinarea concentraţiilor din soluţii şi amestecuri de gaze, precum şi detectarea radiaţiilor nucleare sînt tratate în cadrul unui capitol separat.

Măsurarea temperaturilor şi a mărimilor fotometrice, constituind două capitole distincte, oferă reparatorului, pe lîngă tipurile constructive mecanice, electrice sau electronice, cu care se întîlneşte în practica reparării şi tipuri de aparate specializate, utilizate în măsurători.

Capitolele 11 şi 12 tratează amănunţit măsurarea mărimilor electrice, timpului şi frecvenţei, punînd la dispoziţia muncitorului noţiuni asupra principiilor constructive, electromecanice şi electronice.

Tratarea capitolelor respectă o omogenitate greu de realizat la o lucrare cu un cîmp atît de larg şi eterogen de probleme, nelipsind probleme de erori transmiterea unităţii de măsură, metode de măsurare, descrieri de instrumente de măsurat, verificarea şi întreţinerea acestora.

Fiecare capitol este urmat de o bibliografie specifică în care sînt prezente şi actele normative respective, HCM—uri, STAS-uri, instrucţiuni metrologice etc.

Fiind prima lucrare adresată reparatorilor de instrumente de măsurat, cartea pune bazele unor serii de astfel de lucrări, deosebit de utile şi datorite în economie şi în special în industrie.

Ing. *Doina Boboc*

G. A. Kukekov. **Intreruptoare de curent alternativ de înaltă tensiune** (Vicliuciateli peremennovo toka visokovo napriajenia). Leningrad, Editura Energia, 1972.

Cartea cu titlul de mai sus reprezintă o ediţie nouă, prelucrată şi completată a lucrării profesorului G.A. Kukekov (Institutul Politehnic din Leningrad) apărută în anul 1961 sub titlul „Proiectarea întreruptoarelor de înaltă tensiune" (Proiektirovanie vicliuciatelei peremennovo toka visokovo napriajenia). Modificarea intervenită în titlu, nu a schimbat destinaţia principală a cărţii, rămînînd un îndrumător deosebit de preţios pentru constructorii de aparate electrice de înaltă tensiune şi în special pentru proiectanţii de întreruptoare.

În primul capitol se analizează datele iniţiale care stau la baza calculului şi proiectării întreruptoarelor de înaltă tensiune, ţinînd cont de condiţiile specifice de funcţionare a acestora în exploatare. Se expune o succesiune raţională a lucrărilor de proiectare, se stabilesc caracteristicile tehnice principale ale întreruptoarelor şi se dau recomandări pentru alegerea tipului de întreruptor care să satisfacă condiţiile impuse. Mai sînt analizate de asemenea, soluţiile constructive (schemele) ale principalelor tipuri de întreruptoare convenţionale, fabricate în primul rînd, de industria electrotehnică a URSS.

Cel de al doilea capitol al cărţii se ocupă de dimensionarea întreruptoarelor, în funcţie de nivelul de izolaţie, impus prin standardele de coordonarea izolaţiei, de tipul constructiv al întreruptorului, de felul solicitării şi de forma electrozilor (pieselor). Se dau apoi metode de calcul aproximativ al repartiţiei tensiunilor pe camerele de stingere ale întreruptoarelor, cu un exemplu concret de dimensionare a izolaţiei unui întreruptor cu ulei puţin, de 110 kV.

Capitolul al treilea prezintă metodele practice de calcul al căilor de curent ale întreruptoarelor, acordînd prioritate metodelor grafoanalitice şi numerice de calcul al forţelor electrodinamice, precum şi metodelor inginereşti de aproximare prin calcul a temperaturii căii de curent pentru diferite întreruptoare, aplicate la cazuri concrete (trecerea izolată a întreruptorului cu ulei, calea de curent a camerei de stingere a unui întreruptor pneumatic etc.)

Capitolul al patrulea, complet nou faţă de ediţia precedentă se ocupă de ruperea circuitelor electrice prin arc electric în reţelele electrice de înaltă tensiune. După prezentarea succintă a fenomenului electromagnetic tranzitorii, de comutaţie, din sistemul electroenergetic şi a fenomenelor fizice ale arcului electric, în acest capitol se conturează problemele care se pun la calculul şi proiectarea camerelor de stingere ale întreruptoarelor de înaltă tensiune.

Cel de-al cincilea capitol cuprinde bazele teoriei şi calculului fenomenului electrogazodinamic, care are loc în camerele de stingere cu suflaj longitudinal ale întreruptoarelor pneumatice, moderne, de înaltă tensiune. Formulele de calcul se bazează pe coeficienţi, constante fizice şi alte mărimi determinate experimental, de-a lungul anilor, chiar de autor. Subcapitolele 5—8 ale acestei părţi a lucrării, este deosebit de valoros pentru constructorii de întreruptoare de medie şi înaltă tensiune din R.S.R., deoarece tratează problema rezistenţei de şuntare a întreruptoarelor, prin care se poate îmbunătăţi capacitatea de comutaţie a întreruptoarelor existente, devenind astfel posibilă limitarea supratensiunilor de comutaţie în reţelele de înaltă tensiune.

Capitolul al şaselea este, de asemenea, nou (bazat în parte, pe cercetările experimentale ale autorului cărţii) şi tratează fenomenele de stingere a arcului electric în întreruptoarele cu gaze electronegative (hexafluorură de sulf). Cartea de faţă este printre primele lucrări de aparate electrice de înaltă tensiune, care tratează această problemă de importanţă vitală pentru reţelele electrice de medie şi înaltă tensiune. Prin utilizarea echipamentului capsulat cu SF_6 se rezolvă o serie de probleme majore ale sistemelor electroenergetice moderne ca: eliminarea efectelor poluării izolaţiei din staţiile de exterior şi de interior; reducerea volumului şi suprafeţelor ocupate (staţiile cu echipament capsulat cu SF_6, ocupă pînă la 5% din volum şi 10% din suprafaţa ocupată de staţiile convenţionale); eliminarea efectelor fiziologice ale cîmpului electric asupra organismului personalului de exploatare din staţii; reducerea volumului de lucrări de proiectare şi de montaj; eliminarea perturbaţiilor radioelectrice; creşterea siguranţei în funcţionare a echipamentului; reducerea lucrărilor de întreţinere; îmbunătăţirea radicală a securităţii personalului de exploatare şi de deservire a staţiilor.

În cel de-al şaptelea capitol, autorul se ocupă de calculul şi proiectarea camerelor de stingere a întreruptoarelor cu ulei, acordînd o atenţie deosebită determinării prin calcul a variaţiei presiunii datorită arcului electric, creşterii rigidităţii dielectrice a intervalului de arc în funcţie de particularităţile suflajului etc.

Capitolul opt, se ocupă de calculul şi proiectarea camerelor de stingere a întreruptoarelor de medie tensiune, autogeneratoare de gaze acordînd atenţia cuvenită fenomenelor

fizice şi determinărilor experimentale ale unor date iniţiale de calcul.

În capitolul nouă autorul se ocupă de calculul şi dimensionarea camerelor de stingere a întreruptoarelor cu suflaj magnetic.

Cel de-al zecelea capitol ne dă calculul caracteristicilor gazodinamice ale întreruptoarelor pneumatice care rămîn sub presiune şi la deschiderea aparatului.

În capitolul unsprezece, ultimul capitol al cărţii, este prezentată o metodă de calcul a dispozitivelor de acţionare a întreruptoarelor.

Prin bogăţia materialului expus şi prin metodele de calcul inginereşti folosite, cartea lui G.A. Kukekov reprezintă o sursă de informare foarte utilă pentru inginerii electrotehnicieni şi electroenergeticieni care se ocupă de proiectarea, fabricarea, exploatarea sau modenizarea întreruptoarelor de înaltă tensiune.

Dr. ing. *B. Máthé*, ing. *E. Mihalcea*, ing. *G. Gavrilă*

CZ 621.313.333

B. T. Artemiuc : **Motoare asinerone cu sarcină periodică** (Asinhronnîe dvigateli pri periodicescoi nagruzke). Kiev, editura „Tehnica", 1972, 200 pag.

În literatură, caracteristicile motorului asincron care lucrează cu sarcină periodică nu sînt studiate suficient. Abia în ultimii 20 de ani a început să fie făcută analiza proceselor tranzitorii electromagnetice şi electromecanice care au loc în maşinile asincrone, a căror viteză de rotaţie este alternativă. Majoritatea lucrărilor existente pînă în prezent se referă, în principal, la aplicarea unor metode aproximative pentru studiul caracteristicilor mecanice. În cîteva lucrări, determinarea cuplurilor suplimentare şi a curenţilor cauzaţi de oscilaţiile rotorului se face folosind variaţiile liniare ale mărimilor în jurul punctului static de funcţionare. În ultimii ani au început să apară lucrări în care se utilizează calculatoarele electronice pentru studiul comportării motorului asincron în diverse regimuri.

În această lucrare, pe baza integrării sistemului neliniar de ecuaţii, al motorului asincron, se efectuează calculul curenţilor, al puterilor, al caracteristicilor mecanice şi al caracteristicilor energetice. În acest scop, au fost elaborate o metodică şi un program de calcul pentru calculatorul numeric. Studiul regimurilor de funcţionare a motorului asincron este făcut în cadrul teoriei moderne a maşinii asincrone şi o mare atenţie se acordă esenţei fizice a proceselor care au loc în cazul prezenţei unor sarcini periodice.

În primul capitol se prezintă metoda fazorilor spaţiali reprezentativi. După ce se defineşte fazorul spaţial reprezentativ, se arată cum trebuie să se facă trecerea de la un sistem de coordonate la altul. Apoi se dau ecuaţiile de tensiuni şi expresia cuplului electromagnetic, folosind fazorii spaţiali reprezentativi. Se face analiza regimului permanent pentru motorul asincron cu alimentare simetrică şi pentru motorul asincron cu alimentare nesimetrică. Două exemple de calcul ilustrează cele expuse în acest capitol.

În al doilea capitol se studiază comportarea motorului asincron trifazat, alimentat cu un sistem nesimetric de tensiuni, în condiţiile în care rotorul execută oscilaţii armonice. Se examinează, mai întîi, cazul oscilaţiilor de amplitudine mică. Apoi, se determină valorile curenţilor şi cele ale momentelor corespunzătoare alunecării medii. Se stabilesc valorile curenţilor şi ale cuplurilor de pulsaţie, care se realizează în cazul oscilaţiilor rotorului. În încheiere se analizează influenţa valorilor parametrilor motorului asupra caracteristicilor lui în sarcină periodică şi se prezintă un exemplu numeric.

Capitolul trei este consacrat studiului regimurilor de funcţionare a motorului asincron trifazat la care cuplul rezistent variază periodic. Se prezintă sistemul neliniar de ecuaţii asociat motorului în aceste condiţii, cum şi datele iniţiale necesare pentru rezolvarea sa. Se analizează posibilităţile de rezolvare a acestui sistem pe un calculator analogic şi pe un calculator numeric. Se studiază, apoi, particularităţile variaţiei valorilor instantanee şi efective ale curenţilor, caracteristicile mecanice ale motorului, pierderile şi caracteristicile energetice, metode de îmbunătăţire a caracteristicilor. În final se dă un exemplu de studiu experimental al unui motor asincron folosit la acţionarea unui compresor şi se discută elementele eficacităţii tehnico-economice ale alegerii valorilor optime ale rezistenţei rotorice.

În ultimul capitol, al 4-lea. se prezintă metodele aproximative de analiză a caracteristicilor motorului asincron cu sarcină periodică şi se discută stabilitatea şi caracteristicile de pornire a acestui motor. Se face o comparaţie a diverselor metode de analiză a ecuaţiilor de mişcare, se expune o metodă aproximativă de determinare a pierderilor în cupru în cazul sarcinii periodice, metodă ilustrată printr-un exemplu numeric. Se stabilesc caracteristicile de frecvenţă ale motorului asincron cu sarcină periodică şi se scot în evidenţă cîteva particularităţi de proiectare a motorului asincron în aceste condiţii. Se analizează cazul unor sarcini periodice sub formă de impuls dreptunghiular şi se prezintă un exemplu numeric. Se analizează, apoi, stabilitatea motorului asincron la variaţii periodice ale cuplului de sarcină şi caractericticile sale de pornire.

O bibliografie cuprinzînd 67 de titluri însoţeşte lucrarea, care este deosebit de utilă inginerilor şi tehnicienilor, care se ocupă cu proiectarea şi exploatarea motoarelor asincrone putînd fi folosită şi de studenţii facultăţilor corespunzătoare.

Dr. ing. *Aurelian Crăciunescu*

REFERATE

CZ 621.313 ***Maşini electrice***

Kovacevic, I., Streck, A. **Motoare cu colivie pentru o gamă de puteri de la 400 la 1000 kW.** (Moteurs à cage pour une gamme de puissances de 400 à 1000 kW). În Revue Brown Boveri, vol. **59**, nr. 12, dec. 1972, p. 557—566.

Diferitele construcţii, modurile de protecţie şi de răcire ca şi diferitele execuţii de rotoare conduc, în cazul maşinilor asincrone, la un mare număr de variante care trebuie privite ca execuţii standard. Diversitatea variantelor posibile este datorată numeroaselor tipuri de construcţie şi moduri de protecţie. Fabricarea raţională a acestei game de variante era dificil de realizat cu principiile constructive utilizate acum cîţiva ani, cînd fiecare serie era optimizată ţinînd seama de caracteristicile proprii. Pentru evitarea dificultăţilor de fabricaţie prezentate de aceste serii au fost dezvoltate noile serii de maşini, avînd aceeaşi construcţie de bază şi putînd fi adoptată la diferitele cerinţe, prin adăugarea de elemente suplimentare.

Principiul de construcţie modulară, introdus în 1967 şi perfecţionat între timp, a condus la noile motoare cu colivie cu patru poli şi şase poli, de putere medie şi de medie tensiune. Cîmpul de aplicare a acestor principii constructive se întinde astăzi, la motoarele cu colivie şi la cele cu inele de la 2 la 12 poli, tensiuni de la 220 la 15000 V şi puteri în gama 400—10 000 kW. Seria de motoare cuprinde mărimile de construcţie 400, 450, 500, 560, 630, 710 şi 800, aceste cifre reprezentînd înălţimea axului în mm.

Motoarele din gama de puteri descrisă se disting prin caracteristicile lor de pornire şi de exploatare favorabile. Bunele rezultate, obţinute cu izolaţia micadur-compact şi penele de crestături magnetice, permit să se reducă numărul de crestături şi, ca urmare, pierderile în cuplul înfăşurării statorului, în comparaţie cu construcţiile vechi. Utilizarea tolelor magnetice cu pierderi reduse a permis micşorarea pierderilor în fier.

Elementele de construcţie ale sistemului modular al maşinilor asincrone cn răcire interioară sînt astfel prevăzute încît pot fi utilizate pentru maşinile răcite la suprafaţă.

T. C.

Kovacevic, I., Stiphout, T. **Maşini sincrone de la 250 la 11200 kVA.** (Machines synchrones de 250 a 11200 kVA). În: Revue Brown Boveri, vol. **59**, nr. 12, dec. 1972, p. 571—576.

Maşinile sincrone din această gamă de puteri sînt utilizate atît ca generatoare (grupuri de siguranţă, alternatoare pe bordul vaselor, alternatoare industriale antrenate de turbine cu aburi) cît şi ca motoare (care antrenează compresoare şi pompe). Noua serie cuprinde pentru forma de construcţie B_3, înălţimile de ax mergînd de la 400 la 800 mm Gama de puteri în execuţie cu patru poli se întinde de la 630 la 11200 kVA. Ţinînd seama de largul domeniu de aplicare, gama de tensiuni se întinde de la 400 la 13800 V. Tipul normalizat al seriei este echipat cu o excitatoare trifazată situată între palierele maşinii şi care prezintă un montaj în punte rotitoare de diode în cazul alternatoarelor şi o punte semicomandă (tiristoare-diode) în cazul motoarelor. Maşinile pot fi excitate şi după sistemul clasic. Din punct de vedere constructiv această serie are aceleaşi caracteristici cu seria de motoare asincrone fabricată de frînă. Sistemul de construcţie modulară a fost extins şi la maşinile sincrone. Maşinile avînd înălţimea axului între 400 şi 630 mm pot fi livrate atît cu lagăre cu rulmenţi cît şi cu lagăre de alunecare. Maşinile avînd înălţimea axului de la 710 la 800 mm sînt prevăzute în mod normal cu lagăre de alunecare. Statorul acestei serii este prevăzut cu înfăşurări izolate cu micadur compact.

Rotorul este în execuţie cu poli masivi, fără bobinaj de amortizare. Maşinile acestei serii sînt construite în principal cu izolaţie de clasă F.

Seria de motoare, dimensionate pentru funcţionarea la $\cos\varphi = 1{,}0$, se distinge prin randamentul său ridicat. Aceste motoare au un curent de demaraj superior celui al motoarelor prevăzute pentru $\cos\varphi = 0{,}8$ şi un cuplu de desprindere de 160%.

T.C.

CZ 621.314.2 *Transformatoare*

Erb, W., Schober, I. **Recomandări pentru controlul uleiurilor transformatoarelor în funcţiune.** (Recomandations pour le controle des huiles de transformateurs en service). În: Revue Brown Boveri, vol. **59**, nr. 8, aug. 1972, p. 422—426.

Pe baza experienţei acumulate pînă în prezent, criteriile de apreciere a calităţii uleiului de transformator sînt: rigiditatea dielectrică, factorul de pierderi, indicele de neutralizare tensiunea interfacială, conţinutul depozitului (sedimentului) sau de materii insolubile în heptane, conţinutul de inhibitor, de apă şi cel de gaz. În ceea ce priveşte frecvenţa controlului stării uleiului, aceasta este o problemă tehnico-economică, care depinde, în primul rînd, de necesitatea menţinerii capacităţii de funcţionare a obiectelor supravegheate. Frecvenţa şi volumul încercărilor efectuate depind nu numai de importanţa, mărimea, construcţia şi sarcina aparatului, ci şi de valoarea obiectului supravegheat. De asemenea, această frecvenţă depinde de cantitatea totală de ulei, conţinut de aparat şi de raportul dintre această cantitate şi volumul de ulei necesar pentru încercări. Astfel, se consideră că încercările periodice ale uleiului pentru transformatoarele de măsură nu sînt justificate, mai ales dacă se ţine seamă şi de solicitările termice reduse ale acestor aparate.

Cercetările efectuate asupra uleiurilor în exploatare au permis stabilirea unor limite ale volumurilor de utilizare, în ceea ce priveşte conţinutul de impurităţi sau de substanţe rezultate din descompunerea uleiului. Aceste limite, cu caracter orientativ, trebuie însă interpretate corespunzător pentru a putea fi utilizate.

T.C.

Rogé, G., Pirktl, E. **Probleme relative la rezistenţa la scurtcircuite a marilor transformatoare** (Probleme relative la rezistenţa la scurtcircuite a marilor transformatoare. În: Revue Brown Boveri, vol. **59**, nr. 8, aug. 1972, p. 404—409.

În programul de încercări la scurt-circuit. efectuate în colaborare cu Electricité de France, s-au impus o serie de măsuri, constînd în:

— calcularea prealabilă precisă a forţelor axiale, ţinînd seama de comportarea dinamică a înfăşurărilor;

— corelarea sistemelor de impănare a bobinajelor unei faze, pentru a realiza un monolit şi a împiedica deteriorarea elementelor lor constitutive;

— precomprimarea axială corespunzătoare a înfăşurărilor, cu elemente de strîngere, ţinînd seama de influenţa uscării şi impregnării, în scopul menţinerii presiunii dorite în timpul funcţionării în exploatare;

— împănarea îngrijită a bobinajelor, în scopul evitării flambajului conductorilor, datorat forţelor radiale îndreptate către interior;

— necesitatea absolută a creşterii preciziei în procesul de fabricaţie a înfăşurărilor. Lungimile axiale ale bobinajelor, care au servit ca bază de calcul trebuie să fie menţinute după uscare, strîngere şi impregnare, în scopul reducerii la minim a solicitărilor axiale. După primele încercări asupra transformatoarelor complete, efectuate în 1955, s-au impus unele ameliorări cum ar fi fixarea cu grijă a penelor ce pot să se elibereze, datorită deplasărilor bobinelor în timpul scurt-circuitelor şi utilizarea unor distanţori de calitate superioară în vederea suprimării jocurilor de la extremitatea bobinajului.

Ca urmare a celor arătate mai sus, în prezent, se verifică solicitările dinamice datorate eforturilor axiale, posibilitatea de torsionare a conductorilor, deformările posibile, datorate forţei de compresie radială, alungirea spirelor sub efectul forţelor radiale. Pentru a putea ţine seama de toate fenomenele ce pot conduce la distrugerea înfăşurărilor este necesar să se utilizeze o tehnică specială de programare, în vederea rezolvării problemelor pe calculator.

T.C.

MANIFESTĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI TEHNICE

Tîrgul internaţional de la Poznan (10—19 iunie 1973)

Manifestare de prestigiu, Tîrgul internaţional de la Poznan şi-a deschis porţile pentru a găzdui cea de-a 42-a ediţie a sa, în perioada 10—19 iunie. Această ediţie constituie începutul noului mod de prezentare adoptat de organizatorii Tîrgului de la Poznan şi anume:

— Tîrgul internaţional tehnic, între 10 şi 19 iunie;

— Tîrgul articolelor de consum „TAKON", între 23 şi 30 septembrie.

Prin această împărţire, au fost create participanţilor posibilităţi mai bune de expunere, şi s-au deschis căi mai largi contactelor economice internaţionale.

Pe o suprafaţă de 135 000 m², 4000 de firme din 30 de ţări au expus cele mai noi şi reprezentative produse aparţinînd industriei constructoare de maşini, electronice, tehnică de calcul, construcţii navale.

Printre ţările participante au fost: Anglia, Austria, Belgia, Bulgaria Cehoslovacia, Franţa, India, Italia, Iugoslavia, Japonia. R.D.G., R.F.G., România, Spania, Suedia, S.U.A., Ungaria, U.R.S.S. etc.

Cea mai mare suprafaţă de expunere- — circa 48 la sută — a fost rezervată, după cum este şi firesc, ţării-gazdă, care a fost prezentă cu o gamă variată de utilaje şi dispozitive moderne pentru industria minieră, aparate electronice, dispozitive hidraulice şi de automatică industrială, instalaţii şi aparatură nucleară, optică, medicală, aparataj electric, dispozitive agricole etc.

Locul preponderent a revenit industriei grele care, a expus peste 550 de produse dintre care aproape 80% sînt noutăţi ale industriei poloneze prezentate pentru prima oară specialiştilor, cum ar fi: centrala de climatizare, ventilatoare, vagoane-cisternă, echipament pentru navă.

Republica Socialistă România a fost prezentă la această ediţie a Tîrgului internaţional de la Poznan printre expozanţii de frunte, marcînd totodată a 22-a participare la acest tîrg. Cu o expoziţie generală, cuprinzînd peste 200 de exponate, a ocupat o suprafaţă de 1100 m². Aceste exponate, făcînd parte din programul de fabricaţie a 120 de uzine producătoare, au fost valorificate în timpul celor cîteva zile de 22 de întreprinderi de comerţ exterior dintre care amintim: Maşinexportimport, Electroexportimport, Industrialexport, Electronum, Romenergo, Autotractor, Dacia etc.

Pavilionul românesc înfăţişînd vizitatorilor o gamă variată de produse a reuşit să sugereze în mod elocvent nivelul tehnic ridicat al producţiei uzinelor noastre, expresie a vigoarei şi înaltului grad de dezvoltare a industriei româneşti. Numeroşi reprezentanţi ai firmelor expozante şi ai organizaţiilor comerciale din Polonia, şi din alte ţări, oameni de afaceri şi specialişti, au manifestat un deosebit interes faţă de produsele româneşti. O dovadă concludentă a înaltei aprecieri primite este faptul că, după cîteva zile de la deschiderea tîrgului, toate produsele expuse în cadrul pavilionului românesc erau vîndute, iar pentru întreprinderile noastre de comerţ exterior întreaga perioadă a tîrgului a fost o perioadă fructuoasă în care s-au semnat numeroase contracte economice, perioadă în care pavilionul românesc a înregistrat peste 200 000 de vizitatori.

În afară de gama variată de maşini-unelte produse de întreprinderile noastre constructoare de maşini pentru care s-au semnat cele mai multe contracte au fost apreciate şi produsele industriei electrotehnice şi electronice din pavilionul românesc, expuse de Electronum, ca: transformatoare, motoare asincrone, panouri de comandă, centrale telefonice, conducte pentru înaltă tensiune, maşini electrice de calcul, componente electronice, calculatoarele Felix.

Trebuie remarcat faptul că foarte multe din exponatele româneşti au fost oferite în premieră la această ediţie a tîrgului de la Poznan.

Prin conţinutul său, prin contactele şi relaţiile economice ce s-au stabilit, Tîrgul internaţional de la Poznan, această manifestare care timp de 10 zile a fost găzduită de un oraş străvechi, se înscrie pe linia tendinţei actuale, ce se manifestă pe plan internaţional, de dezvoltare a relaţiilor economice reciproc avantajoase între state, de cunoaştere, apropiere şi bună înţelegere între popoare.

Ing. *Maria Constantin*

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.066 : 621.316.57 : 621.317.33

Кырстя, Д., Рариня, К., Ротиляну, П. и *Курелеру, А.:* **Лаборатория высокой мощности на Заводе Электропутере — Крайова.**

Electrotehnica **21**, № 9, сент. 1973, стр. 332—342

Комплексная установка специального назначения — лаборатория высокой мощности, основанная на прямой схеме испытания, вызывает особые проблемы припроектировании, осуществлении и введении в действие. В работе излагаются принятые решения для лаборатории высокой мощности на заводе Электропутере — Крайова.

ДК 621.3.014.31 : 621.316.57.063.3 : 861.14

Сасу Мими: **Применение вычислительной машины непрерывного действия при исследовании условий неустойчивпсти электрической дуги, опусанной уравнением Касси и Масона.**

Electrotehnica **21**, № 9, сент. 1973, стр. 343—350

Для моделирования электрической дуги выключения, взаимодействующей с испытательной цепью, применяется вычислительная машина непрерывного действия. Работа содержит методику расчета и анализ в случае затухания дуги, описанной уравнением Касси и Масона. Приводятся результаты исследования, проведенного при помощи вычислительной машины непрерывного действия для установления условий, при которых происходит переход от режима затухания к режиму обратного зажигания электрической дуги.

ДК 621.313.32

Корлэцяну, В.: **К вопросу дифференциальных уравнений синхронных машин.**

Electrotehnica **21**, № 9, сент. 1973 стр. 351—360

Приводятся общие уравнения работы синхронных машин. Предлагается теоретическая интерпретация и более конкретные диаграммы, по сравнению с документами С.Е.І. Проводится также внимательный анализ фазориальных диаграмм, имеющихся в технической литературе. Предложения, внесенные автором, послужат С.Е.І. для дальнейших рекомендаций, которые будут сделаны в целях более правильной интерпретации работы синхронных машин.

ДК 621.313.328.1—501.72 : 53

Мэгуряну, Р. ои *Макря Д.:* **О возможностях физического моделирования турбогенератоторв высокой мощности румынского производства.**

Electrotehnica **21**, № 9, сент. 1973, стр. 360—366

Представлены критерия подобия, положенные в основу моделирования синхронных туберкулогенераторов и проводится обзор применяемых методов физического моделирования. Предлагается, для моделирования румынского турбогенератора ТНА—160, применение криогении, погружение целой модели в жидкий азот при — 170°С, что ведет к понижению всех химических сопротивлений приблизительно в 8,5 раз. Вычисленные параметры модели совпадают в относительных величинах с параметрами оригинала, причем экспериментальные испытания, проведенные на ряде статических моделей подтвердили правильность гипотез.

Достижения промышленности 366

Докторские диссертации 368

Новые документальные материалы 369

Проявления в области науки и техники 372

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.066 : 621.316.57 : 621.317.35

Cîrstea, D., Rarinca, O., Rotileanu, P. und *Curelaru, A.*: **Das Hochleistungslaboratorium der Werke „Electroputere" — Craiova.**

Electrotehnica 21, Nr. 9, Sept. 1973, S. 333–?42

Eine komplexe Anlage mit spezieller Bestimmung, ein Hochleistungslaboratorium das auf der direkten Versuchsschema beruht, wirft besondere Projektierungs —, Verwircklichungs- und Inbetriebseztungsfragen auf. In der Arbeit werden die gewählten Lösungen für das Hochleistungslaboratorium der Werke Electroputere — Craiova vorgelegt.

DK 621.3.014.31 : 621.361.57.064.3 : 681.14

Sasu, Mimi: **Die Anwendung des Analogrechners bei der Untersuchung der Unbeständigkeitsbedingungen eines von der Cassie und Masonsche Gleichung beschriebenes Lichtbogens.**

Electrotehnica 21, Nr. 9, Sept. 1973, S. 343–350

Für die Modellierung des Unterbrechungslichtbogens, in Wechselwirkung mit dem Versuchskreises wird ein Analogrechner benützt. Die Arbeit umfasst die Rechnungsmethodik und die Analyse eines besonderen Lichtbogenlöschungsfalles, der von der Cassie und Masonsche Gleichung beschrieben ist. Die Ergebnisse der mittels des Analogrechners durchgeführte Untersuchung über die Art in welcher der Übergang von Löschungsbetrieb zum Wiederzündungsbetrieb stattfindet, werden dargelegt.

DK 621.313.32

Corlăţeanu, V.: **Über die Differentialgleichungen der Sinchronmaschine.**

Electrotehnica 21, Nr. 9, Sept. 1973, S. 351–360

Die allgemeinen Funktionsgleichungen der Synchronmaschine werden dargelegt. Es werden eine richtigere theoretische Interpretation und Diagramme im Vergleich mit den C.E.I. — Unterlagen vorgeschlagen. Eine sorgfältige Analyse der in der Fachliteratur vorhandenen Phasendiagramme wird ebenfalls durchgeführt. Die vom Verfasser gemachten Vorschläge werden der C.E.I. bei der nächsten Empfehlungen für eine richtigere Interpretation des Funktionieren der Synchronmaschine dienen.

DK 621.313.32.81–501.72 : 53

Măgureanu, R. und *Macrea, D.* **Über die Möglichkeiten der physischen Modellierung der rumänischen Hochleistungsturbogeneratoren.**

Electrotehnica 21, Nr. 9, Sept. 1973, S. 360–366

Die Ähnlichkeitskriterien auf denen sich die Modellierung der Synchronturbogeneratoren stützt, werden dargelegt und die angewandten Methoden der physischen Simulation werden übersehen. Für die Simulation des rumänischen Turbogenerators THA–160 wird die Anwendung der Kryogenie — die Versenkung des ganzen Modells im flüssingen Stickstoff bei — 170°C — vorgeschlagen, was zu einer 8,5-maliger Herabsetzung aller chemischen Widerstände führt. Die berechneten Parameter des Modells stimmen in relative Werte mit denen des Originals überein und die auf einer Reihe statischen Modelle durchgeführten Versuche haben die Richtigkeit der Voraussetzungen bestätigt.

VERWIRKLICHUNGEN DER INDUSTRIE 366

DOKTORARBEITEN 368

NEUE DOKUMENTARMATERIALIEN 369

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE EREIGNISSE 372

CONTENTS

DC 621.3.066 : 621.316.57 : 621.317.33

Cîrstea, D., Rarinca, O., Rotileanu, P. and *Curelaru, A* : **The high power laboratory of „Electroputere" Works — Craiova.**

Electrotehnica **21**, No. 9, Sept 1973, p. 333–342

A complex, special purpose high power laboratory based on direct testing diagram, raises many designing, achievement and commissioning problems. The paper describes the solutions adopted for the „Electroputere" laboratory of Craiova.

DC 621.3.014.31 : 621.316.57.065.3 : 681.14

Sasu Mimi : **Utilization of an analogue computer for the study of instability conditions of an electric arc described by Cassie and Mason equation.**

Electrotehnica **21**, No. 9, sept. 1973, p. 343–350

The author uses an analogue computer for the modelling of a switching-off arc in interaction with a testing circuit. The paper describes the calculation method presenting the analysis of a particular case of the blowout of an electric arc described by Cassie and Mason equation. The author presents the results of the study, carried out with the help of an analogue computer, of the transition from blow-out to arc-back.

DC 621.313.32

Corlăţeanu, V. : **About the differential equations describing the operation of synchronous machines.**

Electrotehnica **21**, No. 9, sept 1973, p. 351–360

The author presents the general equations of synchronous machine operation proposing more correct theoretical interpretation and diagrams, as compared with C.E.I. documents.

The paper carries out a thorough analysis of the phases diagrams provided by specialist literature. The proposals put forward by the author might be considered by C.E.I. when new recommendations for a more correct interpretation of synchronous machine operation are made.

DC 621.313.32.81–501.72 : 53

Măgureanu, R. and *Macrea, D.* : **On the possibilities of physical modelling of Romanian — built high power turbogenerators.**

Electrotehnica **21**, No. 9, sept 1973, p. 360–366

The authors present the similitude criteria on which is based modelling of synchronous turbo-generators, reviewing they methods of physical simulation used.

They propose, for the simulation of the Romanian — made THA — 160 turbo-generator, a cryogenic method, dipping the whole model into fluid nitrogen at — 170°C, this resulting in about 8.5 times diminution of all chemical resistences.

The relative values of the calculated parameters of the model coincide with those of the original; experimental tests carried out with a series of static models haw confirmed the correctness of the hypotheses.

INDUSTRIAL ACHIEVEMENTS 366

DOCTOR'S DEGREE THESES 368

NEW DOCUMENTARY MATERIALS 369

SCIENTIFIC AND TECHNICAL EVENTS. 372

SOMMAIRE

CD 621.3.066 : 621.316.57 : 621.317.33

Cîrstea, D., Rarinca, O., Rotileanu, F. et *Curelaru, A.* : **Le laboratoire de grande puissance des Usines „Electroputere" — Craiova.**

Electrotehnica **21**, no. 9, sept. 1973, p. 333–342

Etant une installation complexe à destination spéciale, un laboratoire de grande puissance basé sur un schéma direct d'essais, pose des problèmes particuliers concernant l'élaboration des projets, la réalisation et la mise en oeuvre. Dans cet ouvrage on présente les solutions adoptées pour le laboratoire de grande puissance des Usines „Electroputere" —Craiova.

CD 621.3.014.31 : 621.316.57.063.3 : 681.14

Sasu Mimi : **L'utilisation du calculateur analogique pour étudier les conditions d'instabilité d'un arc électrique, décrit par l'équation de Cassie et Mason.**

Electrotehnica **21**, no. 9, sept. 1973, p. 343–350

Pour modéler l'arc électrique d'interruption, en interaction avec le circuit d'essai, on utilise un calculateur analogique. L'ouvrage comprend la méthodique de calcul et l'analyse d'un cas particulier d'extinction d'un arc électrique, décrit par l'équation de Cassie et Mason. On présente les résultats obtenus à la suite des recherches effectuées à l'aide du calculateur analogique concernant le mode par lequel d'effectue le passage du régime d'estinction, au régime de réallumage de l'arc electrique.

CD 621.313.32

Corlăţeanu, V. : **Considérations concernant les équations différentielles de la machine synchrone.**

Electrotehnica **21**, no. 9, sept. 1973, p. 351–360

On présente les équations générales de fonctionnement de machine synchrone. On propose une interprétation théorique et des diagrammes plus corrects, en comparaison avec les documents du C.E.I. On fait aussi une analyse attentive des diagrammes phasoriaux indiqués par la littérature de spécialité. Les propositions faites par l'auteur serviront au C.E.I. pour les recommandations prochaines que l'on fera en vue d'une interprétation plus correcte du fonctionnement de la machine synchrone.

CD 621.313.32.81–501.82 : 53

Măgureanu, R. et *Macrea, D.* : **En ce qui concerne les possibilités de modélage physique des turbogénérateurs de grande puissance roumains.**

Electrotehnica **21**, no. 9, sept. 1973, p. 360–366

On présente les critères de similitude sur lesquels est basé le modélage des turbogénérateurs synchrones et on passe en revue les méthodes de simulation physique utilisées. On propose, pour simuler le turbogénérateur roumain THA—160, d'utiliser la cryogénie, l'immersion de tout le modele dans de l'azote liquide à—170°C, ce qui a comme résultat une réduction de toutes les résistences chimiques, d'environ 8,5 fois. Les paramètres calculés du modèle coincident en valeurs relatives avec ceux de l'original, et les essais expérimentaux réalisés sur une série de modèles statiques ont confirmé la justesse des hypothèses.

REALISATIONS DANS L'INDUSTRIE 366

THÈSES DE DOCTORAT 368

NOUVEAUX MATERIAUX DOCUMENTAIRES 369

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES. 372

Inregistrator X-Y cu noi dimensiuni

Reprezentare în funcţie de timp cu un preţ suplimentar mic.

Inregistratorul PM 8120 X-Y este un aparat plat cu mai multe sensibilităţi, foarte avantajos pentru preţul lui. Sensibilitatea maximă este 0,05 mV/cm. Impedanţa de intrare a aparatului este ridicată, dispersia este foarte bine eliminată şi intrările sînt izolate de masă. Foaia de hîrtie aderă electrostatic şi sînt prevăzute ghidaje luminoase pentru alinierea uşoară a hîrtiei.

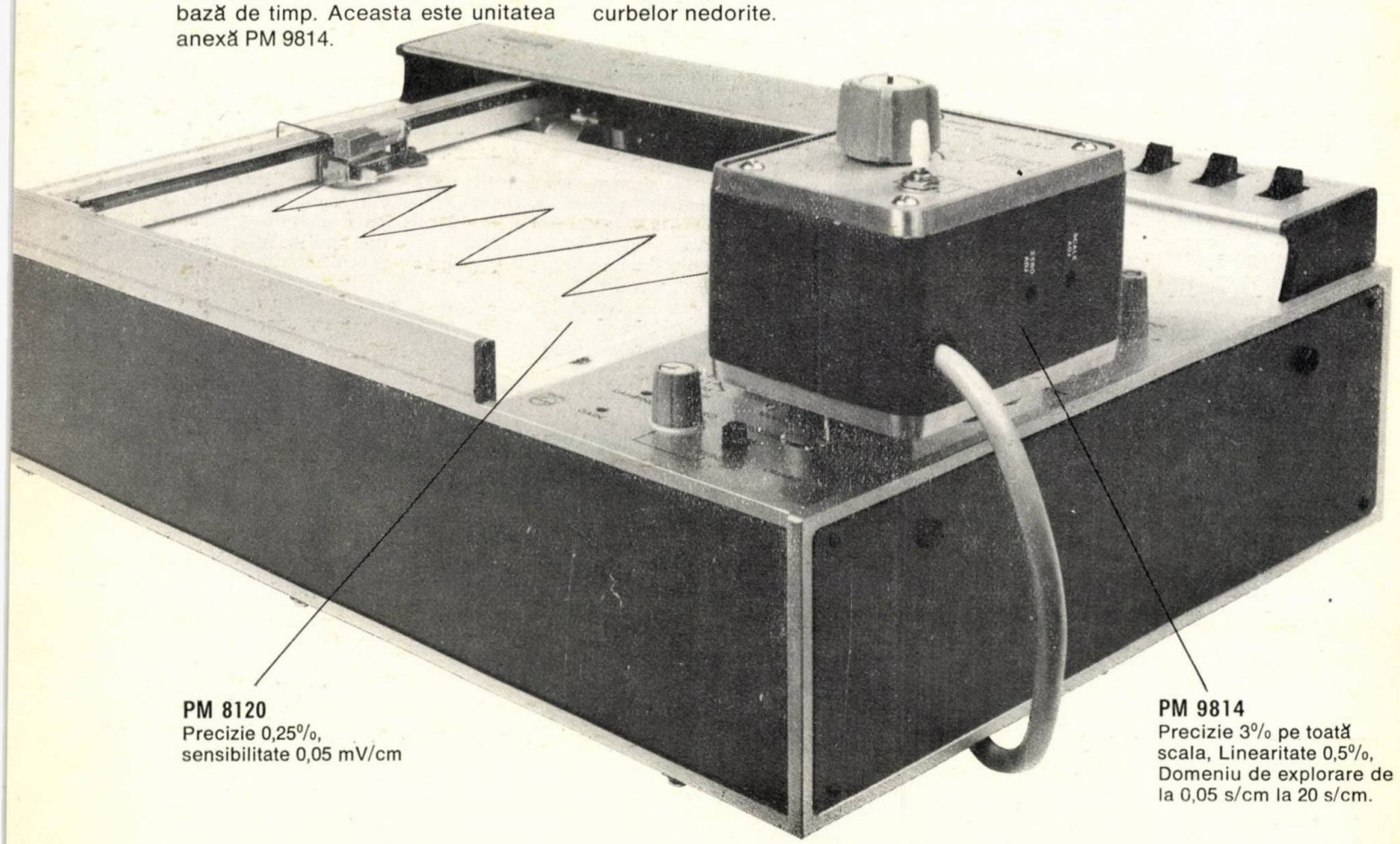
Acestui aparat i s-a mai adăugut o bază de timp. Aceasta este unitatea anexă PM 9814.

Aceasta se dispune deasupra aparatului PM 8120 (sau a multor alte înregistratoare carteziene) dînd o nouă dimensiune capacităţii lor de înregistrare. So obţine cu un preţ suplimentar mic posibilitatea de reprezentare X-t sau Y-t. Precizia de 3% şi linearitatea de 0,5% sînt superioare performanţelor multor subansambluri similare incorporate în înregistratoare.

Cu ajutorul unui comutator pornire/oprire/readucere se poate înregistra numai porţiunea de fenomen care interesează. Telecomanda ridică automat peniţa pentru a evita trasarea curbelor nedorite.

Dacă se doreşte adaptarea unui înregistrator cartezian pentru reprezentări X-t sau Y-t, sau adăugarea unei noi dimensiuni la aparatul existent, se poate face apel la

Departementul PIT Export,
N.V. Philips Gloeilampenfabrieken,
HSM-p, Eindhoven, Olanda.

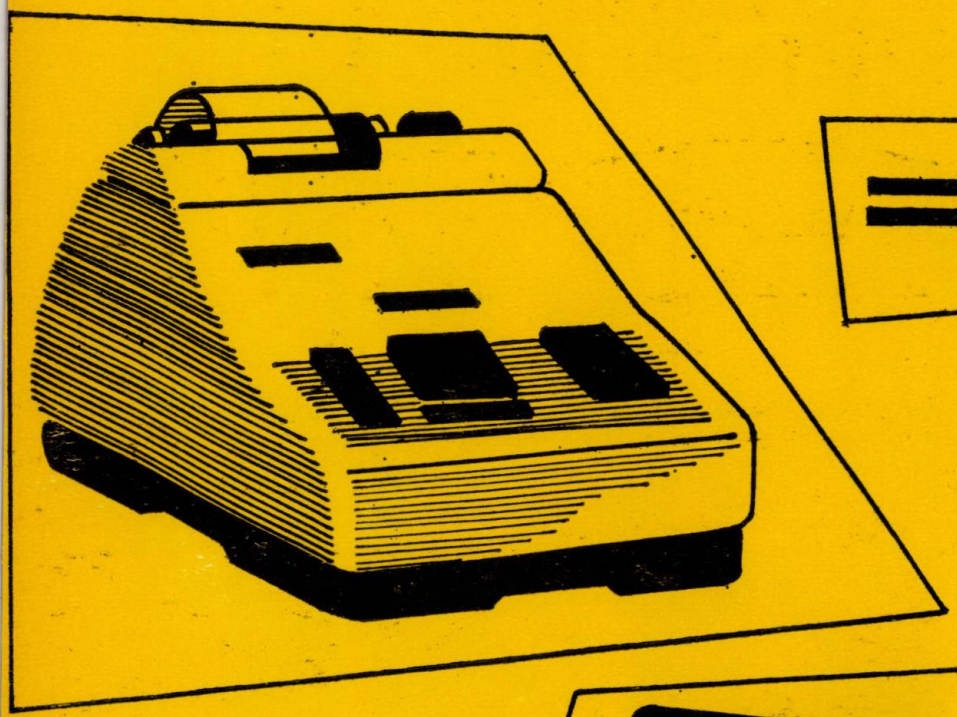


PM 8120
Precizie 0,25%,
sensibilitate 0,05 mV/cm

PM 9814
Precizie 3% pe toată scala, Linearitate 0,5%, Domeniu de explorare de la 0,05 s/cm la 20 s/cm.

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

PHILIPS



Produsele sînt de calitate superioară, au forme moderne, plăcute şi sînt mult apreciate atît pe piaţa internă cît şi pe cea externă.

Întreprinderea „ELECTROMUREŞ" fabrică un bogat sortiment de produse electrocalorice de uz casnic şi industrial, maşini de calculat electromecanice precum şi o variată gamă de conductori electrici, cordoane pentru aparate de uz casnic, conducte şi cordoane de telecomunicaţii, precum şi seturi de cablaje electrice autotractor.

ELECTRO MUREŞ

ÎNTREPRINDEREA

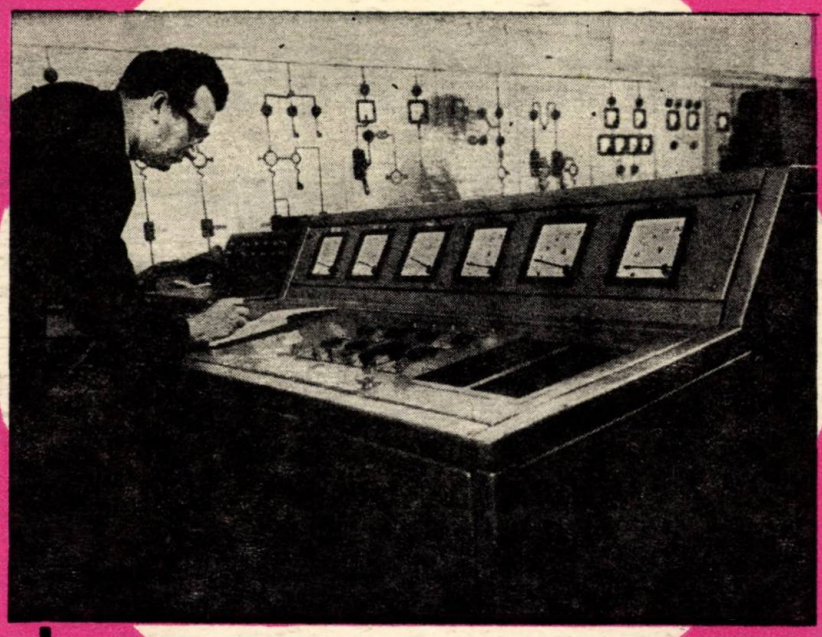
Electromureş

TÎRGU MUREŞ, str. Kossuth L. nr. 112—114. Telefon: 11817-11818-11819. Telex: 035249

1974 JAN 9

INSTITUTUL DE CERCETARE SI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive.

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine.

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dv., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele?

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca produsele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 de ani în activitate, care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

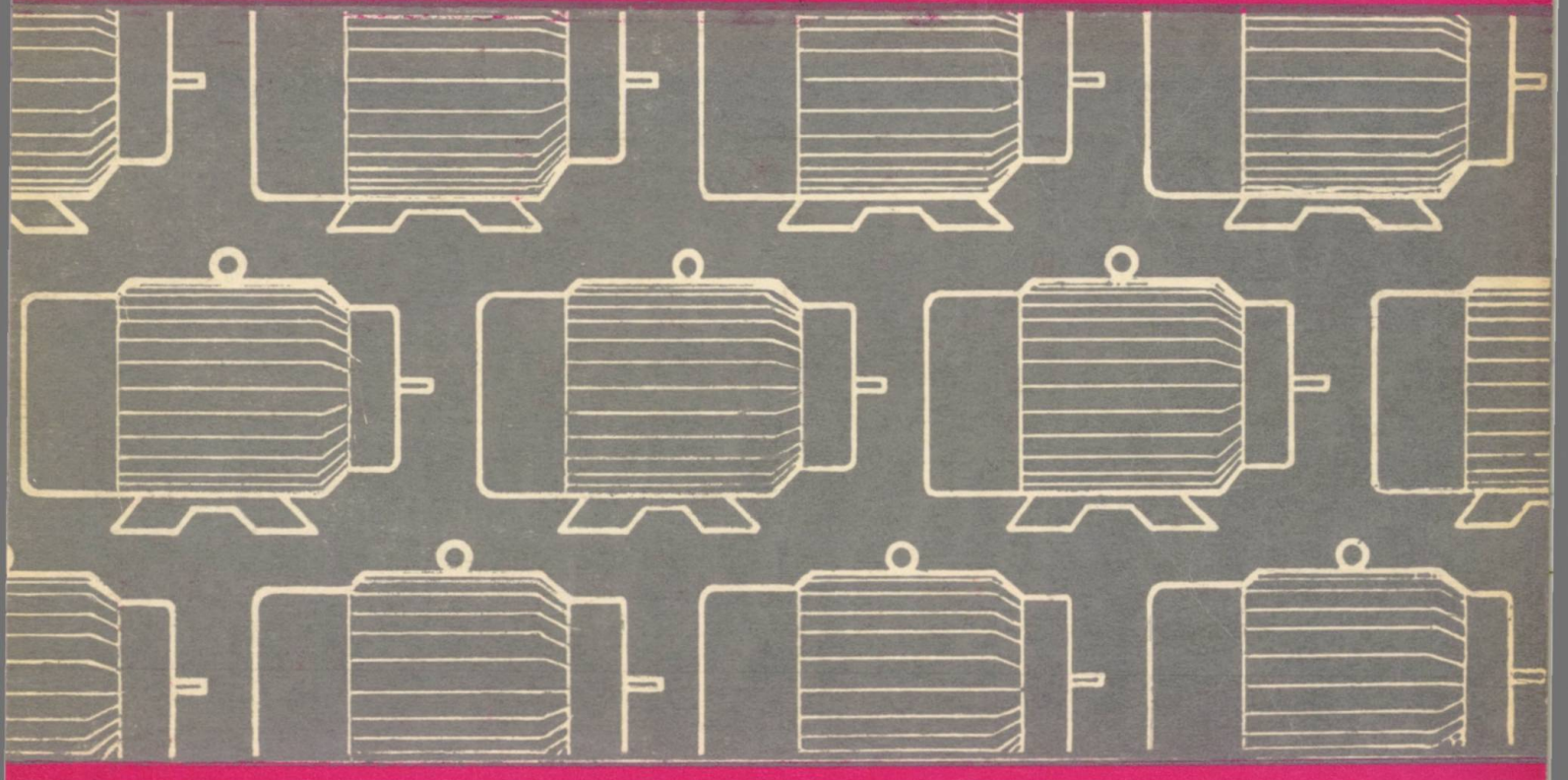
ICPE • București • Bd.T.Vladimirescu 45-47 • Telef. 314100

E 2040

R

REFERATUL

ELECTROTEHNICA



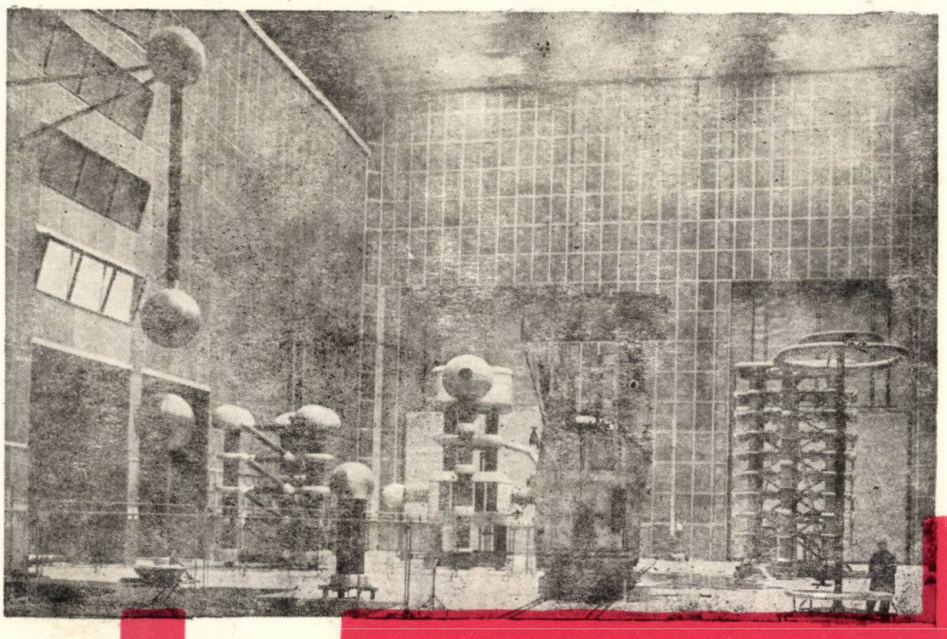
ELECTROTEHNICA ● BUCUREŞTI ● ANUL 21 ● Nr. 10 ● OCTOMBRIE 1973

10

CENTRUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE ELECTROPUTERE CRAIOVA

prin noul său

LABORATOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE



conceput şi echipat modern oferă în domeniul tehnicii tensiunilor înalte următoarele servicii:

— încercări cu tensiune aplicată în gama de frecvenţe 25—150 Hz pînă la 1200 kV;

— încercări cu tensiune aplicată în curent continuu pînă la 1000 kV, 30 mA;

— încercări cu tensiune indusă în transformatoare de putere cu frecvenţă mărită 100—150 Hz, monofazat şi trifazat;

— încercări cu supratensiuni atmosferice 1,2/50 μs pînă la 2400 kV, 192 kWs;

— încercări cu supratensiuni de comutaţie 250/2500 μs, pînă la 1800 kV;

— măsurători de descărcări parţiale şi perturbaţii radio în hală ecranată electromagnetic;

— încercări asupra izolaţiei externe sub ploaie artificială;

— ridicarea caracteristicilor de răspuns ale schemelor de măsurare de înaltă tensiune (divizoare, şunturi);

— încercări pentru caracterizarea materialelor electrotehnice;

— calculul şi modelarea fenomenelor tranzitorii în transformatoare;

— studii şi cercetări pentru dezvoltarea echipamentului electrotehnic de înaltă tensiune.

Craiova, Calea Bucureşti nr. 144; telefon 21871; telex 016228

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 10 pag. 373—412 octombrie 1973

CUPRINS

CZ 621.313.2.015.34 :681.339.713

Răducan, I. : **Determinarea repartiției tensiunii de impuls în transformatoare de putere. Utilizarea modelelor electromagnetice.**

Electrotehnica **21**, nr. 10, oct. 1973, p. 373—378

Se expun pe scurt principiile teoriilor clasice privind fenomenul tranzitoriu la impuls de tensiune, în înfășurările transformatoarelor de putere, cîteva tipuri de modelare posibile, insistîndu-se asupra modelului electromagnetic (combinat). În final se prezintă rezultatele cercetărilor, efectuate cu ajutorul modelelor, asupra comportării la impuls de tensiune a unui autotransformator de mare putere la tensiunea de 400 kV.

CZ 621.313.333.2.044.5

Andrei, R. : **Motorul asincron liniar de mare viteză cu canal axial în indus.**

Electrotehnica, **21**, nr. 10, oct 1973, p. 379—384

Se tratează, pentru prima oară în literatura de specialitate, cazul motorului asincron liniar cu indus cu canal axial. Rezolvarea problemei este făcută plecînd de la ecuațiile cîmpului electromagnetic. Relațiile obținute pentru repartiția cîmpului din întrefier și forțe sînt ulterior simplificate pe baza anumitor considerații constructive, ușurîndu-se în acest fel proiectarea optimă a șinei. Se trag concluzii privind comportarea motorului la diverse valori ale produsului lunecare-frecvență, care este factorul determinant în caracterizarea efectului pelicular.

CZ 621.335.2.014.32 :621.3.024

Oprișor, M. și *Teodor, Gh*: **Unele concluzii privind efectele electrodinamice asupra osiei dispuse pe șine alimentate în curent continuu.**

Electrotehnica **21**, nr. 10, oct 1973, p. 385—390

Folosind analiza separată a influenței diferiților parametri asupra mișcării unei osii montate, dispusă pe șine izolate eletric și alimentate la o sursă de curent ridicat și tensiune redusă, sînt discutate rezultatele experimentale obținute pe modele fizice special concepute. În baza acestor rezultate se prezintă o nouă interpretare a naturii fenomenelor ce produc mișcarea osiei. Este stabilită natura și importanța forțelor electrodinamice ce concură la producerea mișcării, precum și modul în care este generată aceasta. Sînt explicate fenomenele însoțitoare, remarcate în cursul experiențelor.

CZ 621.352.6.016.36

Mavrodin-Tărabic Maria, Onaca Ioana și *Solacolu, I* : **Pilele cu combustibil lichid-surse chimice de curent cu eficiență superioară.**

Electrotehnica **21**, nr. 10, oct 1973, p. 391—395

Se prezintă principalele tipuri de pile cu combustibil lichid. Se fac considerații asupra caracteristicilor și performanțelor realizate în sursele de curent, care utilizează drept combustibil : metanol, hidrazină, mono- și polialcooli, amoniac.

CZ 621.317.735 (498)

Antoniu, M : **Un megohmmetru tranzistorizat de 5000 V, realizat în țară.**

Electrotehnica **21**, nr. 10, oct 1973, p. 396—404

Se examinează unele probleme legate de construcția unui asemenea aparat, mai ales în ceea ce privește blocul de alimentare cu tensiune înaltă și în ceea ce privește conectarea bobinei derivație a logometrului în amonte de convertor. Se prezintă, apoi, un megohmmetru logometric tranzistorizat de 5000 V cu patru trepte pentru tensiunea de lucru (500, 1000, 2500 și 5000 V), realizat în întregime cu materiale și componente indigene.

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE 404
RECENZII 407
ANIVERSĂRI 408
MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE 409

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil; dr. ing. V. BUNEA; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLAȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU; ing. M. OPASCHI; ing. A. POPA; prof. ing. CRISTINA POPESCU; prof. ing. VL. POPOVICI; academician prof. dr. doc. șt. tehn. ing. R. RĂDULEȚ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director : 14.62.67. Redacția : București, str. Mândinești nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25. c. 3265. *Taxele poștale plătite în contavans conform aprobării D.P.D.P. nr. 137/10078/1972*

41 400

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI-UNELTE ȘI ELECTROTEHNICII ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
ÎNDRUMAREA ȘTIINȚIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ȘI PUBLICAȚII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 nr. 10 București, octombrie 1973

Determinarea repartiției tensiunii de impuls în transformatoare de putere. Utilizarea modelelor electromagnetice

IONEL RĂDUCAN* — Craiova

CZ 621.313.2.015.34.681.339.713

Repartiția tensiunii de impuls în transformatoare de putere s-a impus cu cîțiva ani în urmă, pentru a se putea asimila la uzina „Electroputere" Craiova, două clase noi de tensiune (220 kV și 400 kV), la aceste transformatoare.

Studiul solicitărilor care apar în izolația transformatoarelor, cu ocazia proceselor tranzitorii de tensiune, se poate face prin modelare și prin calcul manual, sau utilizînd calculatoare electronice. Trebuie arătat că primul model utilizat la noi în țară a fost modelul electromagnetic (combinat), construit de către tovarășul prof. dr. ing. Gh. Hortopan în cadrul ICPE — București, încă din anii 1960—1961.

Primele studii teoretice ale proceselor tranzitorii la impuls de tensiune în transformatoare de putere, au început cu circa 60 ani în urmă, rezultînd două teorii devenite clasice și ale căror principii vor fi expuse pe scurt în cele ce urmează.

1. Teoriile clasice privind fenomenul tranzitoriu la impuls de tensiune în transformatoare de putere

Studiul comportării transformatoarelor la impuls de tensiune a început prin a se căuta răspuns la întrebarea, dacă înfășurarea transformatorului se comportă la fel ca linia de transport de energie electrică, în cazul apariției undei de impuls. Cei care au răspuns afirmativ au considerat că o înfășurare simplă, uniformă, se reprezintă printr-un șir de inductivități egale, în serie și un șir de capacități față de masă (fig. 1). Conform acestei concepții, așa cum unda de impuls călătorește în lungul conductorului de transport de energie electrică, odată ajunsă la bornele unui transformator, pătrunde în înfășurare și călătorește în lungul conductorului acesteia, de la spiră la spiră, de la un capăt la altul. Desigur că în această formă, punctul de vedere expus mai sus [1] nu ține seama de existența capacităților serie C_s dintre spire, straturi, galeți, etc. și nici de cuplajele magnetice dintre spire, care fac ca o tensiune aplicată pe prima spiră să apară în același timp pe celelate spire (practic instantaneu) fără a călători în lungul tuturor spirelor.

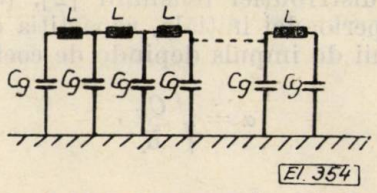


Fig. 1. Linia de transmisie echivalentă

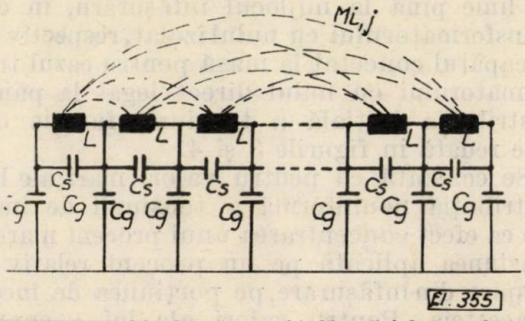


Fig. 2. Schema echivalentă a unei înfășurări de transformator

În cazul unei rețele de transport de energie electrică nu există capacități serie C_s și inductanțe mutuale $M_{i,j}$.

Schema echivalentă a unei înfășurări uniforme, mai apropiată de cazul real, este cea din figura 2.

*) ing. *I. Răducan* este cercetător științific principal la Centrul de cercetare și proiectare „Electroputere" Craiova.

Apar, două elemente noi (capacitățile C_s și inductanțele mutuale $M_{i,j}$), care modifică fenomenele și care au efect contrar din punct de vedere al distribuției tensiunii de impuls, cuplajele inductive tinzînd să repartizeze uniform tensiunea aplicată, iar rețeaua de capacități, tinzînd să producă o repartizare neuniformă. Teoria undei călătoare este dezvoltată în [1] iar teoria undei staționare în [2] și [3].

În cele ce urmează se va arăta desfășurarea procesului tranzitoriu la impuls de tensiune, conform teoriei undei staționare. Pentru simplificare și o mai ușoară înțelegere a fenomenului, se consideră că unda aplicată este unda treaptă.

Perioada inițială. În momentul aplicării undei dreptunghiulare pe rețeaua din figura 2, nu se poate stabili instantaneu nici un curent în rețeaua inductivă care va reacționa, pentru o perioadă, ca un circuit deschis. În această perioadă se va încărca rețeaua capacitivă, stabilindu-se o distribuție a tensiunii, determinată numai de această rețea și denumită distribuția inițială sau capacitivă a tensiunii de impuls. Curentul de încărcare inițial scade pînă la valoarea zero în momentul cînd rețeaua capacitivă este complet încărcată. Conform ecuației distribuției tensiunii [2], [3], [6] la sfîrșitul perioadei inițiale, repartiția capacitivă a tensiunii de impuls depinde de coeficientul :

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_G}{K}}, \qquad (1)$$

unde :

$C_G = nC_g$ = capacitatea înfășurării față de masă ;

$K = \frac{C_s}{n}$ = capacitatea serie (longitudinală) a înfășurării, măsurată de la capătul de linie pînă la mijlocul înfășurării, în cazul transformatorului cu nulul izolat, respectiv pînă la capătul conectat la masă pentru cazul transformatorului cu nulul direct legat la pămînt. Distribuția inițială a tensiunii funcție de α este redată în figurile 3 și 4.

Se constată că pentru valori mari ale lui α distribuția neuniformă a tensiunii de impuls are ca efect concentrarea unui procent mare din tensiunea aplicată pe un procent relativ mic de spire din înfășurare, pe porțiunea de început a acesteia. Pentru valori ale lui α cuprinse între 5 și 30, pe porțiunea de început a înfășurării, apar tensiuni inițiale de valori foarte puțin diferite, în funcție de modelul de tratare a nulului.

Perioada intermediară. Cînd încărcarea rețelei capacitive este terminată, nodurile acesteia au tensiuni maxime, curenții prin rețeaua capacitivă sînt nuli și începe descărcarea pe rețeaua inductivă datorită diferenței de potențial între cele două rețele. Această descărcare a rețelei capacitive pe rețeaua inductivă are loc printr-o serie de oscilații amortizate.

Perioada finală. Odată amortizat procesul de oscilație, se stabilește distribuția finală a

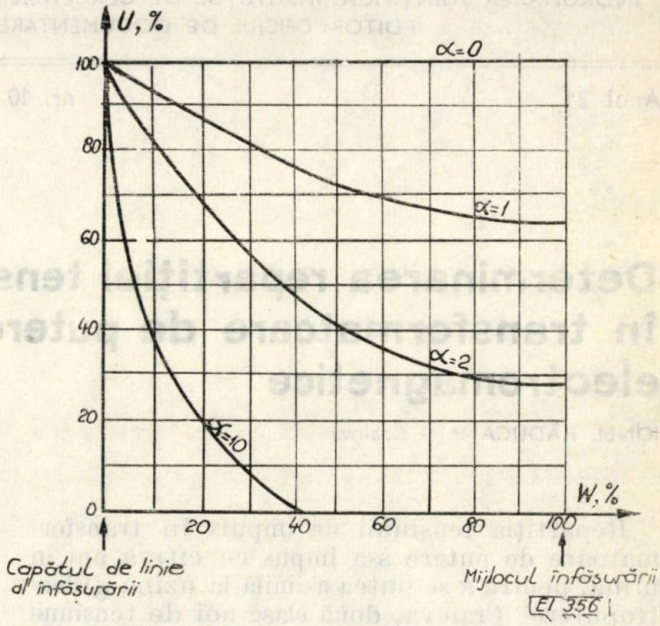


Fig. 3. Distribuția inițială a tensiunii de impuls într-o înfășurare de transformator cu nulul izolat

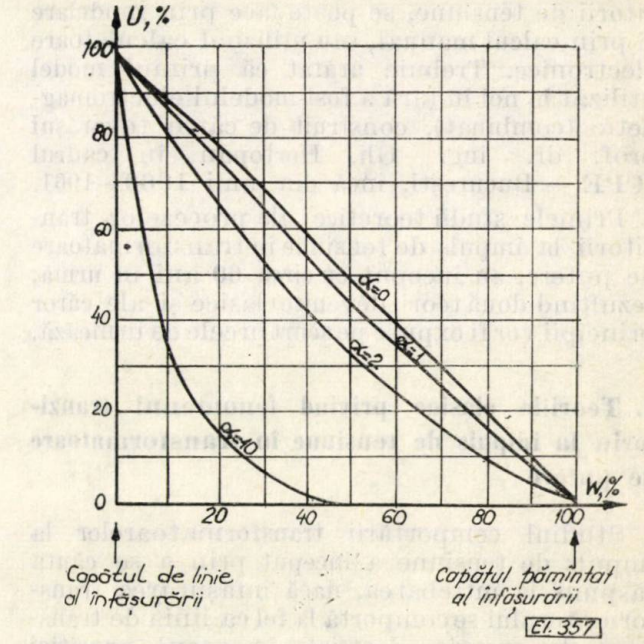


Fig. 4. Distribuția inițială a tensiunii de impuls într-o înfășurare de transformator cu nulul legat la pămînt.

tensiunii de impuls care este determinată exclusiv de rețeaua inductivă.

În afară de distribuția inițială a tensiunii, care furnizează informații referitoare la solicitările mai mari din zona de intrare a înfășurării, deci, informații referitoare la dimensionarea izolației longitudinale a înfășurării (între

spire, straturi, galeți, etc.) constructorul de transformatoare este interesat în a cunoaște și înfășurătoarea maximelor oscilațiilor, care reprezintă o distribuție a maximelor tensiunii de impuls față de masă și care furnizează informații referitoare la dimensionarea izolației către masă a înfășurării.

În mod aproximativ, înfășurătoarea maximelor tensiunii față de masă poate fi determinată grafic din repartiția inițială, adăugînd în fiecare punct al curbei repartiției finale, diferența între aceasta și repartiția inițială.

Distribuțiile spațiale ale tensiunii de impuls și oscilațiile în timp pentru fiecare punct al înfășurării, pot fi determinate pe original, pe model, sau prin calcul.

2. Tipuri de modele utilizate pentru studiul distribuției tensiunii de impuls în transformatoare de putere

Cercetările experimentale privind fenomenele tranzitorii la impuls de tensiune în transformatoare, necesită pe de o parte, fie originalul transformatorului, fie modelul acestuia, iar pe de altă parte, un generator de impulsuri repetate cu oscilograf, pentru încercările nedistructive necesare. La noi în țară, generatoare de impulsuri repetate au fost construite încă din 1960 la ICPE [6], [7], [8], unde a fost aplicat pentru prima oară în R.S.R. modelul electromagnetic ale cărui baze teoretice au fost puse de Abetti [4] încă din 1953. În prezent se dispune de utilaje moderne pentru încercările modelelor, cum sînt generatorul de impulsuri repetate tip 48 și osciloscopul catodic tip 80, de fabricație Haefely. Tipurile de modele care pot fi utilizate pentru studiul comportării la impuls de tensiune a transformatoarelor sînt: rețeaua model, modelul geometric și modelul electromagnetic (combinat).

Rețeaua model poate fi construită din elemente concentrate ca : rezistențe, inductanțe și capacități. Coeficienții de similitudine ai rețelei model sînt dați de următoarea relație [9]:

$$R = \frac{L}{t} = \frac{t}{C}, \qquad (2)$$

unde :

R — coeficientul de similitudine al rezistenței electrice;
L — coeficientul de similitudine al inductanței;
t — coeficientul de similitudine al timpului;
C — coeficientul de similitudine al capacității.

Din cei patru factori de similitudine se pot alege în mod arbitrar doi, ceilalți rezultînd din relația (2). Deoarece această relație nu a avut la bază alte relații între mărimi geometrice, rezultă că nu este obligatorie similitudinea geometrică între original și rețeaua-model, ceea ce face din aceasta un mijloc de studiu foarte simplu de realizat. Totuși, necesitatea de a calcula, pentru original, toți parametrii (R, L, C) a făcut ca acest gen de modelare să nu fie utilizat.

Modelul geometric. Bazele teoretice și practice ale acestui tip de model au fost puse de Chladek [12]. Prin modelul geometric se înțelege copia bobinajului original redus de la mărimea geometrică reală, la o mărime geometrică convenabilă. Chladek ajunge (nu redăm aici demonstrațiile) la următoarele relații între coeficienții de similitudine :

$$l = t = \rho, \qquad (3)$$

pentru cazul ε_r și μ_r identici la model și la original.

În relația (3) avem :

l — coeficientul de similitudine al lungimilor;
ρ — coeficientul de similitudine al rezistivității;
ε_r, μ_r — coeficienții de similitudine pentru permitivități, respectiv permeabilități, magnetice.

Rezultă din (3) că factorul de similitudine al dimensiunilor geometrice l se păstrează și pentru timp și pentru rezistivitate. Deducem, deci, că de cîte ori este mai mic modelul geometric decît originalul, de atîtea ori trebuie micșorat timpul de desfășurare a fenomenelor în model față de original și tot de atîtea ori trebuie redusă rezistivitatea materialului conductor din model față de original. Această ultimă condiție conduce la aceea că rezistența R a modelului geometric trebuie să fie egală cu rezistența R' a originalului.

Din analiza condițiilor de realizare și de încercare a modelului geometric rezultă următoarele dezavantaje ale acestuia :

— reducerea strictă a tuturor dimensiunilor geometrice și în special a dimensiunilor conductorului și grosimilor izolației este practic extrem de dificilă;

— existența capacităților reduse la model, face ca influența capacităților proprii ale conductoarelor de legătură și ale osciloscopului să eroneze rezultatele măsurătorilor;

— amortizarea oscilațiilor la model față de original va fi mai mare datorită imposibilității utilizării unui conductor cu rezistivitate mai mică decît cea a conductorului din bobina originală.

Modelul electromagnetic (combinat). Bazele teoretice ale acestui tip de model au fost puse de Abetti [4].

Modelul constă dintr-o combinație între un model geometric și o rețea de condensatoare, convenabil conectate, în anumite puncte ale modelului geometric. Din [4] și [11] se deduc relațiile dintre factorii de similitudine pornind

de la ecuaţiile lui Maxwell pe cînd în [5] se obţin aceleaşi rezultate utilizînd analiza dimensională. Rezultatele obţinute pot fi concentrate în următoarele două condiţii între coeficienţii de similitudine:

$$\mu\sigma l^2 = t, \tag{4}$$

$$\mu\varepsilon l^2 = t^2, \tag{5}$$

unde : l, t, μ, σ, ε sînt factorii de similitudine respectivi ai dimensiunilor geometrice, timpului, permeabilităţii magnetice, conductivităţii şi constantei dielectrice. Condiţiile (4) şi (5) există şi în cazul modelului geometric, dar, originalitatea introdusă de Abetti constă în faptul că ε poate fi ales arbitrar şi în acest caz scara timpului devine independentă de scara dimensiunilor geometrice.

Dacă se renunţă la condiţia (4), care se referă la curenţii de conducţie şi se respectă doar condiţia (5) referitoare la curenţii de deplasare, luîndu-se $\mu = 1$ rezultă :

$$t = l\sqrt{\varepsilon}, \tag{6}$$

şi alegînd $t = 1$ rezultă :

$$\varepsilon = \frac{1}{l^2}, \tag{7}$$

iar dacă scara numărului de spire $N = 1$, rezultă scara capacităţilor :

$$C = \frac{1}{l}. \tag{8}$$

Factorul de similitudine al numărului de spire N poate fi ales arbitrar deoarece partea de model reprezentînd o reducere simplă a transformatorului nu reproduce decît proprietăţile electromagnetice.

În modelul electromagnetic se pot, deci, alege trei factori de similitudine independenţi, l, t, N ceilalţi factori rezultînd în funcţie de aceştia.

Unul dintre factorii de similitudine care nu a fost analizat de Abetti este cel al amortizării, asupra căruia se atrage atenţia în [5]. Printr-o demonstraţie simplă se ajunge la relaţia :

$$\delta = \frac{1}{l}, \tag{9}$$

între scara amortizării şi scara dimensiunilor geometrice. Avînd în vedere că pentru modelul geometric această relaţie este :

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{l}}, \tag{10}$$

se ajunge la concluzia că amortizarea la modelul electromagnetic este mai mare decît la cel geometric.

Se susţine însă în [9] şi [10] că este totuşi posibil ca în cazul unor modele electromagnetice să se respecte amortizarea originalului, chiar pentru valori arbitrare ale factorilor l şi t, pe cînd în cazul modelului geometric nu există această posibilitate. Din analiza teoriei modelului electromagnetic rezultă următoarele avantaje ale acestuia :

— scara timpului poate fi aleasă arbitrar ;

— partea de model geometric se referă numai la reproducerea dimensiunilor bobinei nu şi la dimensiunile conductorului ;

— deoarece capacităţile reţelei de condensatoare sînt mărite faţă de original $\left(C = \frac{1}{l}\right)$, se micşorează influenţa capacităţilor parazite micşorînd astfel erorile de măsurare ;

— se elimină necesitatea calculării inductanţelor, păstrîndu-se totuşi cuplajele inductive prin bobina model.

3. Cercetări experimentale pe model electromagnetic

Au fost studiate cu ajutorul modelelor electromagnetice, patru variante de bobinaj ale unui autotransformator de mare putere cu I.T de 400 kV. Unul din cele patru modele electromagnetice şi două modele reţea de condensatoare, împreună cu generatorul de impulsuri repetate şi osciloграful catodic, pot fi văzute în figura 5.

Schema de principiu a modelului electromagnetic este reprezentată în figura 6.

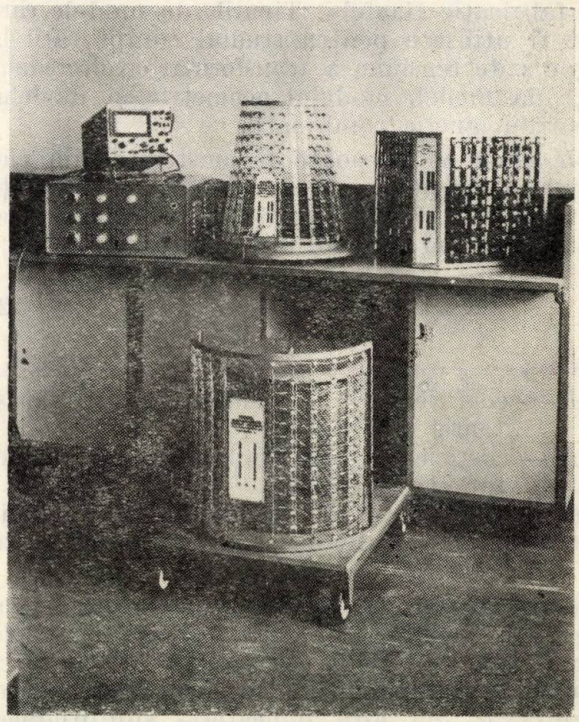


Fig. 5. Fotografia modelului autotransformatorului.

Prizele realizate la model au permis conectarea înfăşurărilor, fie ca transformator, fie ca autotransformator.

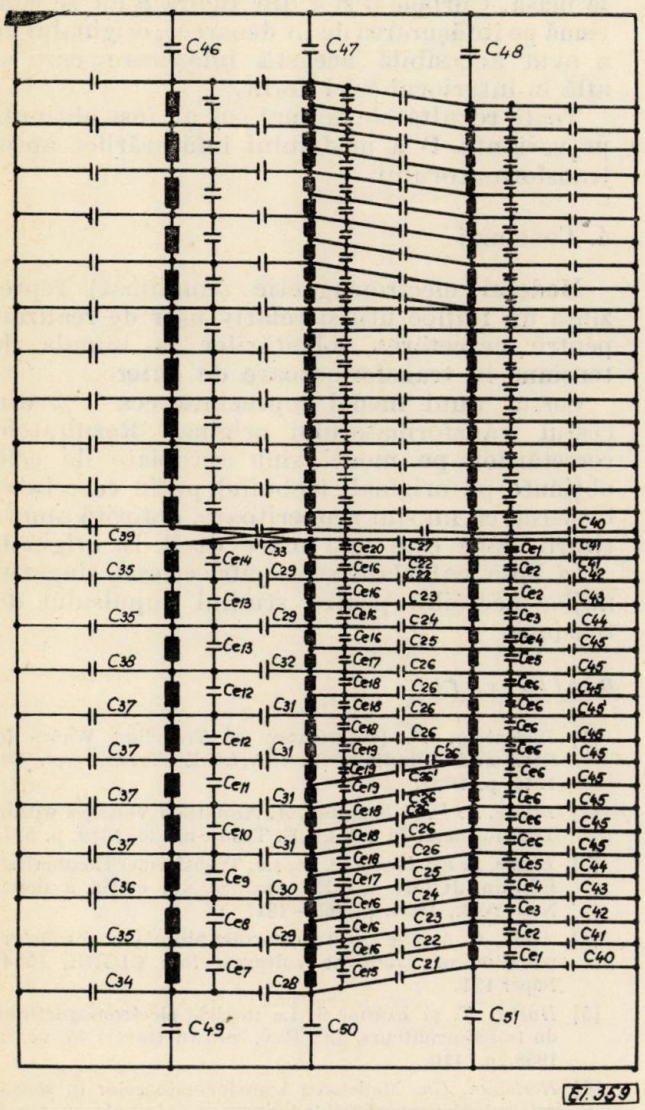


Fig. 6. Schema de principiu a modelului autotransformatorului de 400 kV.

Valorile capacităţilor din schema de mai sus, calculate cu expresiile date în literatura de specialitate [9] şi [10], se redau în tabela 1.

Rezultatele obţinute pe model şi original, în conexiune ca transformator şi în conexiune autotransformatorică sînt redate sub formă de curbe în figurile 7 şi 8.

Din figura 7, în care s-au reprezentat rezultatele obţinute pe model şi pe original, pentru cazul conectării înfăşurărilor ca transformator, se constată o diferenţă aproape neglijabilă în zona de început a înfăşurării între distribuţia iniţială, măsurată pe model, faţă de cea măsurată pe original şi diferenţe nedepăşind 5% în restul lungimii înfăşurării. Pentru distribuţia maximelor tensiunilor faţă de masă, în acest caz de conectare punctele determinate pe original au fost reprezentate în figura 7 sub formă de mici cerculeţe. Se constată o bună identitate între curbele ce reprezintă

Tabelel 1

Lista capacităţilor utilizate la modelul autotransformatorului de 400 kV, varianta D

Buc.	Simbol	Valoarea la original, pF	Valoarea la model, pF	Buc.	Simbol	Valoarea la original, pF	Valoarea la model, pF
4	Ce_1	12031	60155	4	C_{26}'	36	180
6	Ce_2	12236	61180	2	C_{27}	70	350
4	Ce_3	12443	62215	2	C_{28}	774	3870
4	Ce_4	12558	62790	6	C_{29}	790	3950
4	Ce_5	12810	64050	2	C_{30}	784	3920
16	Ce_6	12950	64750	8	C_{31}	772	3860
2	Ce_7	1350	6750	2	C_{32}	774	3870
4	Ce_8	1413	7065	2	C_{33}	395	1475
2	Ce_9	1472	7360	2	C_{34}	127	635
4	Ce_{10}	1485	7425	6	C_{35}	130	650
2	Ce_{11}	1250	6250	2	C_{36}	129	645
2	Ce_{12}	1357,7	6787,5	8	C_{37}	127	635
2	Ce_{13}	1435	7175	2	C_{38}	127	635
2	Ce_{14}	1333	6665	2	C_{39}	65	325
2	Ce_{15}	2757	13785	2	C_{40}	42,5	212,5
14	Ce_{16}	3011	15055	2	C_{40} I	30	150
4	Ce_{17}	3108	15540	6	C_{41}	30	150
12	C_{18}	3165	15825	4	C_{42}	30	150
6	Ce_{19}	2665	13325	4	C_{43}	29,5	147,5
2	Ce_{20}	2689	13445	4	C_{44}	29,5	147,5
2	C_{21}	103	515	18	C_{45}	29	145
6	C_{22}	72	360	1	C_{46}	61,5	307,5
4	C_{23}	71,5	357,5	1	C_{47}	76	380
4	C_{24}	71	355	1	C_{48}	252	1260
4	C_{25}	70,5	352,5	1	C_{49}	56	280
16	C_{26}	69	345	1	C_{50}	68,5	342,5

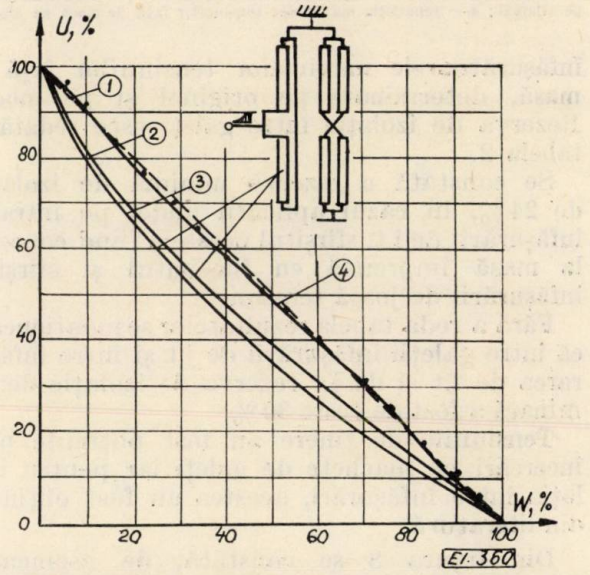


Fig. 7. Repartiţia tensiunii de impuls pe înfăşurarea de î.t a autotrafo de 400 kV, în conexiune ca transformator:
1 — repartiţia finală; 2 — repartiţia iniţială pe model; — 3 repartiţia iniţială pe original; 4 — repartiţia maximelor tensiunilor faţă de masă, pe model; 0 — valori obţinute pe original.

Tabela 2

Extrapolarea rezervelor de izolaţie între galeţi

Între galeţii	Tensiunea de ţinere, kVmax	Solicitarea maximă		Rezerva de izolaţie, %
		%	kVmax	
1—2 ca autotransformator	280	6,8	97	65
2—3, ca autotransformator	280	10,2	146	47
1—2, ca transformator	280	10	142,5	48
2—3, ca transformator	280	15	213	24

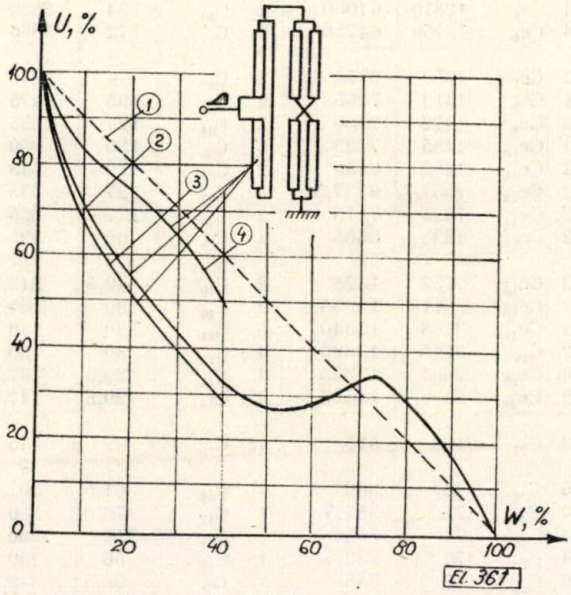


Fig. 8. Repartiţia tensiunii de impuls în autotransformatorul de 400 kV, în conexiune autotransformatorică :
1 — repartiţia finală ; 2 — repartiţia iniţială pe model ; 3 — repartiţia iniţială pe original ; 4 — repartiţia maximelor tensiunilor faţă de masă pe original

înfăşurătoarele maximelor tensiunilor faţă de masă, determinate pe original şi pe model. Rezerva de izolaţie între galeţi este redată în tabela 2.

Se constată o rezervă minimă de izolaţie, de 24%, în cazul aplicării undei pe intrarea înfăşurării de î.t. sfîrşitul acesteia fiind conectat la masă împreună cu începutul şi sfîrşitul înfăşurării de joasă tensiune.

Fără a reda tabela rezultatelor se menţionează că între galeţii înfăşurării de j.t şi între înfăşurarea de î.t şi de j.t rezerva de izolaţie determinată a fost de peste 30%.

Tensiunile de ţinere au fost obţinute prin încercări pe machete de galeţi iar pentru izolaţia între înfăşurări, acestea au fost obţinute din literatură.

Din figura 8 se constată, de asemenea, concordanţe acceptabile între model şi original în cazul conectării înfăşurărilor ca autotransformator. În acest caz unda de impuls a fost aplicată tot pe borna de intrare a înfăşurării de î.t., sfîrşitul înfăşurării de j.t, fiind conectat la masă. Curbele 3 şi 4 din figura 8 nu se continuă pe înfăşurarea de j.t deoarece, originalul nu a avut accesibilă această înfăşurare care se află în interiorul celei de î.t.

Toate rezultatele de mai sus au fost obţinute pe varianta D a modelului înfăşurărilor autotransformatorului.

4. Concluzii

Modelul electromagnetic (combinat) reprezintă un mijloc util şi relativ uşor de realizat, pentru cercetarea solicitărilor la impuls de tensiune în transformatoare de putere.

Costul unui model reprezintă cca 1% din costul transformatorului original. Rezultatele cercetărilor pe model sînt apropiate de cele obţinute pe original, trebuind puţin corectate, în sensul că nu sînt acoperitoare, datorită amortizării, care este mai mare decît la original.

În lipsa calculatoarelor cifrice, este singurul mijloc accesibil pentru studiul impulsului de tensiune.

Bibliografie

[1] *Rudenberg, R.* Performance of Traveling Waves in Coils and Windings. In : A.I.E.E. Trans., vol. **59**, 1940, p. 1031.

[2] *Blume, L. F.* şi *Boyajian, A.* Abnormal Voltages within Transformers. In : A.I.E.E. Trans. nr. 38, 1919, p. 577.

[3] *Blume, L. E., Boyajian, A.*, ş.a. Transformer Enginering. Editura JOHN WILEY and SONS, ediţia a doua, New-York, 1954, p. 463—481.

[4] *Abetti, P. A.* The Use Transformer Models for the Determination of Transient Voltages. In : CIGRE, 1954, Paper 131.

[5] *Hurter, T.* şi *Ecklin, G.* Le modele électromagnetique du transformateurs. In : Rev. Brown Boveri **45**, nr. 9, 1958, p. 410.

[6] *Hortopan, Gh.* Modelarea transformatoarelor în sensul determinării repartiţiei la tensiunea de impuls. Partea I. In : Electrotehnica, nr. 8, august 1961, p. 261.

[7] *Hortopan, Gh.* Modelul geometric şi electromagnetic al transformatoarelor. Partea II. În : Electrotehnica nr. 11, noiembrie 1961, p. 381.

[8] *Hortopan, Gh., Vascan, Th.*, Practica modelării transformatoarelor. În : Electrotehnica nr. 12, decembrie 1961, p. 442.

[9] *Ambrozie, C.* Utilizarea modelării transformatoarelor de putere pentru studierea comportării la impuls de tensiune. Partea I. În : Comunicări Tehnice, Electroputere, nr. 2, 1963, p. 31.

[10] *Ambrozie, C.* Utilizarea modelării transformatoarelor de putere pentru studierea comportării la impuls de tensiune. Partea II. În : Comunicări Tehnice, Electroputere, nr. 3, 1964, p. 16.

[11] *Froideveaux, J.* Les modèles, auxiliaires du calcul des transformateurs. In : Bull. Secheron, nr. 25, 1956.

[12] *Chladek, J.* Modely hamitajicichvinuti transformatoru. În : Electrotechn. Obz., 1950.

Intrat în redacţie la 25.IV.1973

Motorul asincron liniar de mare viteză cu canal axial în indus

ANDREI RADU* — București

CZ 621.313.333.2.044.5

Motorul asincron liniar folosit în tracțiunea electrică a devenit la ora actuală industrial, depășind în țări avansate, din punct de vedere tehnic, faza studiului experimental. Asocierea acestui mijloc de propulsie cu tehnicile relativ recente ale suspensiei pneumatice (pernă de aer) sau magnetice (levitație magnetică), a dus la înlăturarea multor neajunsuri ale sistemelor clasice din tracțiunea feroviară. Aceste inconveniente, legate îndeosebi de transmisia puterii mecanice la roți și mai ales de contactul mecanic șină-roată, fac ca vitezele atinse să nu depășească în mod obișnuit 150 Km/h. Motorul electric liniar rezolvă cu succes și problema frînării, care este foarte eficace. Față de alte soluții recente aplicate în tehnica feroviară, ca cea a folosirii turbinelor de avioane, sistemul cu motor electric liniar are avantajul de a fi silențios și nepoluant. Alimentarea cu energie electrică se face la tensiuni relativ înalte și avînd frecvența cuprinsă între 200 și 300 Hz. Această gamă aleasă pentru frecvență este limitată superior de efectul pelicular produs în șină, în lipsa căruia forța de tracțiune ar fi direct proporțională cu pulsația tensiunii de alimentare. Dependența forței de tracțiune de frecvența tensiunii de alimentare prezintă un maxim, efectul pelicular la frecvențe mari făcînd ca distribuția densității de volum a forței să se producă cu valori mari, numai la suprafața șinei. Acest lucru ar face ca în mod normal indusul să se construiască din material nemagnetic (duraluminiu) de grosime mică (1—2 cm). Avînd însă în vedere considerente mecanice ce nu permit o înălțime acceptabilă a șinei (0,6÷1 m) la asemenea grosimi, acesta se construiește de obicei avînd forma din figura 1. Această structură a indusului este impusă, deci, de prezența efectului pelicular, de necesitatea asigurării unei rezistențe mecanice acceptabile pentru indus și de considerente economice, ducînd la o substanțială economie de material.

În lucrarea de față se rezolvă, în esență, o problemă de cîmp, determinîndu-se repartiția inducției magnetice în întrefier, a curentului și densității de volum a forței electromagnetice din indus. Este de menționat faptul că modul în care este pusă și rezolvată problema dă o soluționare mult mai exactă acestui gen de motor cu indusul avînd canal axial. De altfel, putem spune că din acest punct de vedere lucrarea este inedită în literatura de specialitate, în care se tratează cazurile indusului maxim [6], [12], sau ale celui de formă bandă [2], [3], [10].

Situația în care indusul are configurația din figura 1 (indus cu canal axial) este asimilată în literatură cu cazul celui de formă bandă.

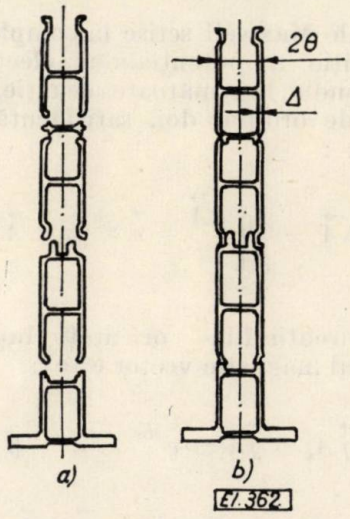


Fig. 1. Structura indusului la un motor asincron liniar plan, folosit în tracțiunea electrică, la viteze mari.

Modelul fizic și ipotezele simplificatoare adoptate

Modelul fizic este cel prezentat în figura 2, în care indusul și inductorul sînt presupuse de lungime foarte mare, în așa fel încît să putem neglija efectele de capăt. Ulterior acest efect poate fi luat în considerație, așa cum se procedează în mod curent într-o tratare „separată" a fenomenelor [2], prin introducerea coeficientului K_i (s) ce ține seamă de micșorarea forței de tracțiune datorită efectului de stingerea cîmpului la marginea de intrare [12]. Curenții induși în șină vor fi considerați orientați numai după axa Oy în zona întrefierului. Această presupunere, implică considerarea în calcule a unei rezistivități echivalente a indusului : $\rho_e = K_r \rho$. Coeficientul K_r a fost determinat în [9] și este funcție numai de dimensiunile geometrice ale mașinii (l_1, l_2, τ).

Permeabilitatea magnetică a miezului inductorului, precum și rezistivitatea acestuia, sînt considerate infinite. Solenația inductoare se echivalează cu o pătură de curent de forma unei unde. Vom considera numai fundamentala

* Ing. *Andrei Radu* este asistent la Catedra de mașini electrice din Institutul politehnic București.

undei păturii de curent inductoare avînd amplitudinea $\mathcal{A}_{1m}$ şi perioada spaţială 2τ, τ fiind pasul înfăşurării.

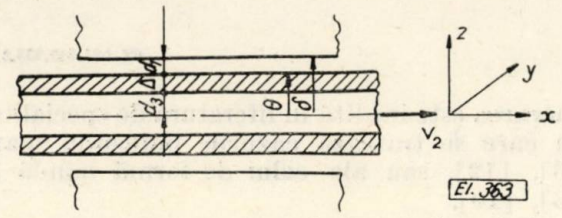


Fig. 2. Modelul fizic al motorului asincron plan avînd canal axial în indus.

Calculul mărimilor de cîmp din întrefier

Ecuaţiile Maxwell scrise în complex şi relaţia de definiţie a potenţialului electromagnetic vector, conduc la următoarea ecuaţie, cu derivate parţiale de ordinul doi, satisfăcută de acesta din urmă :

$$\Delta\vec{A} = \frac{\mu_0}{\rho_e}\left[\frac{\partial\vec{A}}{\partial t} - \vec{v}\times(\nabla\times\vec{A})\right]. \tag{1}$$

Toţi curenţii fiind orientaţi după axa Oy, potenţialul magnetic vector este :

$$\vec{A} = \vec{j}\,A_y = \vec{j}\underline{A}(z)\cdot e^{(j\beta x-\omega_1 t)}; \qquad \beta = \frac{\pi}{\tau}. \tag{2}$$

Dacă se ţine seama că : $\vec{v} = \vec{i}\,v_2$, unde v_2 este viteza de deplasare a indusului, rezultă pentru amplitudinile complexe $\underline{A}(z)$ din cele trei subdomenii ale întrefierului :

$$\text{(I)}: \qquad \frac{d^2\underline{A}_{\rm I}(z)}{dz^2} - \underline{\gamma}^2\underline{A}_{\rm I}(z) = 0, \tag{3}$$

unde :

$$\underline{\gamma}^2 = \beta^2 - j\frac{\mu_0}{\rho_e}s\omega_1.$$

$$\text{(II)}: \qquad \frac{d^2\underline{A}_{\rm II}(z)}{dz^2} - \beta^2\underline{A}_{\rm II}(z) = 0, \tag{4}$$

$$\text{(III)}: \qquad \frac{d^2\underline{A}_{\rm III}(z)}{dz^2} - \beta^2\underline{A}_{\rm III}(z) = 0. \tag{5}$$

Soluţiile ecuaţiilor liniare şi omogene (3)÷(5) se scriu imediat :

$$\underline{A}_{\rm I}(z) = \underline{C}_1\cdot e^{\underline{\gamma}z} + \underline{C}_2\cdot e^{-\underline{\gamma}z}, \tag{6}$$

$$\underline{A}_{\rm II}(z) = \underline{C}_3\cdot e^{\beta z} + \underline{C}_4\cdot e^{-\beta z}, \tag{7}$$

$$\underline{A}_{\rm III}(z) = \underline{C}_5\cdot e^{\beta z} + \underline{C}_6\cdot e^{-\beta z}. \tag{8}$$

Condiţiile pe frontieră:

$$\underline{B}_{x\,\rm II}(z)\big|_{z=\delta} = \mu_0\cdot\mathcal{A}_{1m}, \tag{9}$$

$$\underline{B}_{x\,\rm III}(z)\big|_{z=0} = 0, \tag{10}$$

precum şi condiţiile de conservare a componentelor normale şi tangenţiale ale inducţiei la suprafeţele de separaţie dintre subdomeniile I şi II şi respectiv I şi III, duc la determinarea constantelor de integrare $\underline{C}_1 \div \underline{C}_6$. La scrierea acestor condiţii trebuie avute în vedere relaţiile :

$$\underline{B}_x(z) = -\frac{d\underline{A}(z)}{dz}, \qquad \underline{B}_z(z) = -j\beta\underline{A}(z). \tag{11}$$

Nu vom mai scrie expresiile amplitudinilor complexe $\underline{A}_{\rm I}(z)$, $\underline{A}_{\rm II}(z)$, $\underline{A}_{\rm III}(z)$ ale potenţialului magnetic vector din cele trei subdomenii şi ţinînd seamă de (11) rezultă :

$$\underline{B}_{x\,\rm I}(z) = \mu_0\frac{\underline{\gamma}}{\underline{c}}\cdot e^{\underline{\gamma}(\theta-z)}\cdot(\underline{s}\cdot e^{2\underline{\gamma}z} - \underline{t}\cdot e^{2\underline{\gamma}d_3})\cdot\mathcal{A}_{1m},$$

$$\underline{B}_{z\,\rm I}(z) = j\mu_0\frac{\beta}{\underline{c}}\cdot e^{\underline{\gamma}(\theta-z)}\cdot(\underline{s}\cdot e^{2\underline{\gamma}z} + \underline{t}\cdot e^{2\underline{\gamma}d_3})\cdot\mathcal{A}_{1m}, \tag{12}$$

unde :

$$\underline{c} = \underline{s}(\underline{\gamma}\cdot\mathrm{ch}\beta d_1 + \beta\cdot\mathrm{sh}\beta d_1)\cdot e^{2\underline{\gamma}\theta} - \underline{t}(\underline{\gamma}\cdot\mathrm{ch}\beta d_1 - \beta\cdot\mathrm{sh}\beta d_1)e^{2\underline{\gamma}d_3},$$

$$\underline{s} = \underline{\gamma} + \beta\cdot\mathrm{th}\beta d_3, \qquad \underline{t} = \underline{\gamma} - \beta\cdot\mathrm{th}\beta d_3. \tag{12}$$

Pentru subdomeniile II şi III ale întrefierului se obţin expresii ale componentelor cîmpului magnetic de aceeaşi formă.

Amplitudinea complexă a densităţii de curent din indus rezultă din legea inducţiei electromagnetice şi a conducţiei electrice. Dacă se fac calculele rezultă :

$$\underline{I}_{y\,\rm I}(z) = \mathrm{j}\frac{1}{\rho_e}s\omega_1\underline{A}_{\rm I}(z) = \mathrm{j}\frac{\mu_0}{\rho_e}s\omega_1\frac{1}{\underline{c}}\cdot(\underline{s}\cdot e^{2\underline{\gamma}z} + \underline{t}\cdot e^{2\underline{\gamma}d_3})\cdot e^{\underline{\gamma}(\theta-z)}\cdot\mathcal{A}_{1m}. \tag{13}$$

Calculul densităţilor de volum ale forţelor şi pierderilor din indus se face cu relaţiile cunoscute :

$$\vec{f}_v(z) = \vec{i}\cdot f_{vx}(z) + \vec{k}\cdot f_{vz}(z) = \vec{i}\frac{1}{2}\mathrm{Re}[\underline{I}_{y\,\rm I}\cdot\underline{B}^*_{z\,\rm I}] + \vec{k}\frac{1}{2}\mathrm{Re}[\underline{I}_{y\,\rm I}\cdot\underline{B}^*_{z\,\rm I}], \tag{14}$$

$$P_{2v}(z) = \frac{1}{2}\rho_e\cdot\mathrm{Re}[\underline{I}_{y\,\rm I}(z)\cdot\underline{I}^*_{y\,\rm I}(z)]. \tag{15}$$

Nu vom mai da relaţiile de calcul ale acestor mărimi.

Pe baza anumitor particularităţi constructive ale acestor motoare, se vor aduce simplificări importante relaţiilor de calcul. În felul acesta, deşi se introduc anumite aproximaţii, cu totul acceptabile din punct de vedere ingineresc, formulele de calcul îşi dobîndesc o valoare, practic, mare.

Calculul simplificat al mărimilor de cîmp

Se remarcă faptul că mărimile $\beta \cdot \mathrm{sh}\beta d_1$ şi $\beta \cdot \mathrm{th}\beta d_3$ sînt mult mai mici (de circa 20 de ori) decît părţile reale ale mărimilor complexe $\underline{\gamma} \cdot \mathrm{ch}\beta d_1$ şi respectiv $\underline{\gamma}$, pentru valorile uzuale ale parametrilor σ, d_1, d_3. Acest lucru se întîmplă chiar pentru valoarea minimă a alunecării la care funcţionează un astfel de motor ($s = 0{,}1$).

Ţinînd seama de această observaţie, mărimile date de relaţiile (12) devin :

$$\underline{s} \cong \underline{t} \cong \underline{\gamma}, \qquad \underline{c} \cong 2\underline{\gamma}^2 \cdot e^{\underline{\gamma}(\theta+d_3)} \cdot \mathrm{sh}\,\underline{\gamma}\Delta, \tag{16}$$

$$\underline{B}_{x\mathrm{I}}(z) \cong \mu_0 \frac{\mathrm{sh}\,\underline{\gamma}(z-d_3)}{\mathrm{sh}\,\underline{\gamma}\Delta} \cdot \mathcal{A}_{1m}, \qquad \underline{B}_{z\mathrm{I}}(z) \cong \mathrm{j}\mu_0 \frac{\beta}{\underline{\gamma}} \cdot \frac{\mathrm{ch}\,\underline{\gamma}(z-d_3)}{\mathrm{sh}\,\underline{\gamma}\Delta} \cdot \mathcal{A}_{1m}. \tag{17}$$

Pe baza unui calcul exact se ajunge la concluzia că în subdomeniile II şi III variaţia componentelor inducţiei este foarte mică cu coordonata z, ele rămînînd, practic, constante pe distanţele d_1, respectiv d_3. Pe baza acestei observaţii, putem considera că $\underline{B}_x$ şi $\underline{B}_z$ sînt practic constante în aceste subdomenii. Valorile lor se obţin din (17), unde z se înlocuieşte cu θ ($\underline{B}_{x\mathrm{II}}$, $\underline{B}_{z\mathrm{II}}$) şi d_3 ($\underline{B}_{x\mathrm{III}}$, $\underline{B}_{z\mathrm{III}}$).

Expresiile simplificate ale densităţilor de curent, forţelor şi pierderilor din indus sînt :

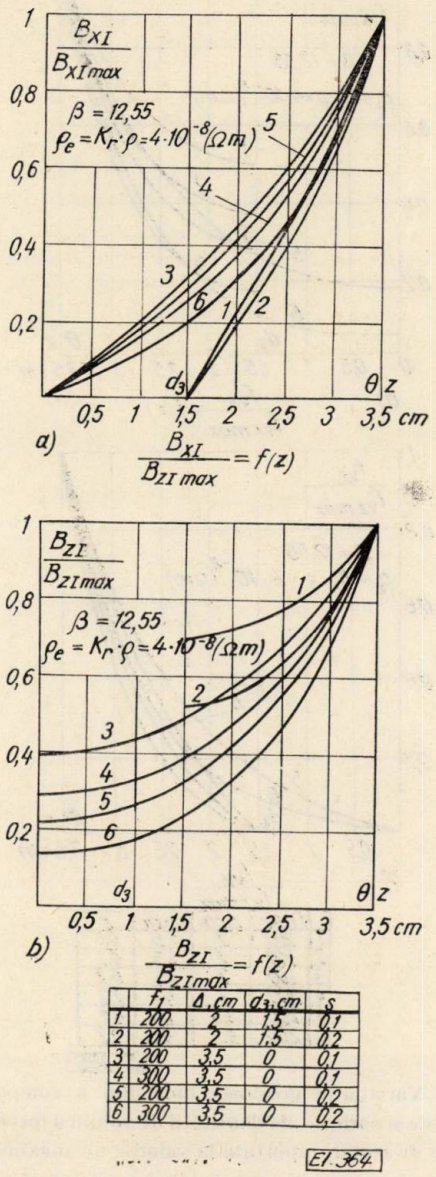
$$\underline{I}_{y\mathrm{I}} \cong \mathrm{j}\mu_0 \cdot \frac{s\omega_1}{\rho_e} \cdot \frac{\mathrm{ch}\,\underline{\gamma}(z-d_3)}{\underline{\gamma} \cdot \mathrm{sh}\,\underline{\gamma}\Delta} \cdot \mathcal{A}_{1m}. \tag{18}$$

$$f_{vx}(z) \cong \frac{1}{2} \frac{\mu_0^2}{\rho_e} s\omega_1 \beta \cdot \left| \frac{\mathrm{ch}\,\underline{\gamma}(z-d_3)}{\underline{\gamma} \cdot \mathrm{sh}\,\underline{\gamma}\Delta} \right|^2 \cdot \mathcal{A}_{1m}^2, \tag{19}$$

$$f_{vz}(z) \cong \frac{1}{2} \frac{\mu_0^2}{\rho_e} s\omega_1 \cdot \frac{Re\{\underline{\gamma}^* \cdot \mathrm{ch}\,\underline{\gamma}(z-d_3) \cdot [\mathrm{sh}\,\underline{\gamma}(z-d_3)]^*\}}{|\underline{\gamma} \cdot \mathrm{sh}\,\underline{\gamma}\Delta|^2} \cdot \mathcal{A}_{1m}^2, \tag{20}$$

$$p_{2v}(z) = sv_1 \cdot f_{vx}(z), \tag{21}$$

Valorile maxime ale mărimilor $B_{x\mathrm{I}}(z)$, $B_{z\mathrm{I}}(z)$, $f_{vx}(z)$ şi $f_{vz}(z)$ sînt la suprafaţa indusului ($z = \theta$). În figurile 3a, b şi 4a, b se arată variaţia mărimilor de mai sus, raportate la valorile maxime, pentru diverse valori ale produsului alunecare-frecvenţă (sf_1) şi la configuraţia dată a şinei (δ, θ, d_3).



	f_1	Δ, cm	d_3, cm	s
1	200	2	1,5	0,1
2	200	2	1,5	0,2
3	200	3,5	0	0,1
4	300	3,5	0	0,1
5	200	3,5	0	0,2
6	300	3,5	0	0,2

Fig. 3a, b Variaţia pe lăţimea intrefierului a componentelor longitudinale şi normale ale inducţiei raportate la valorile lor maxime.

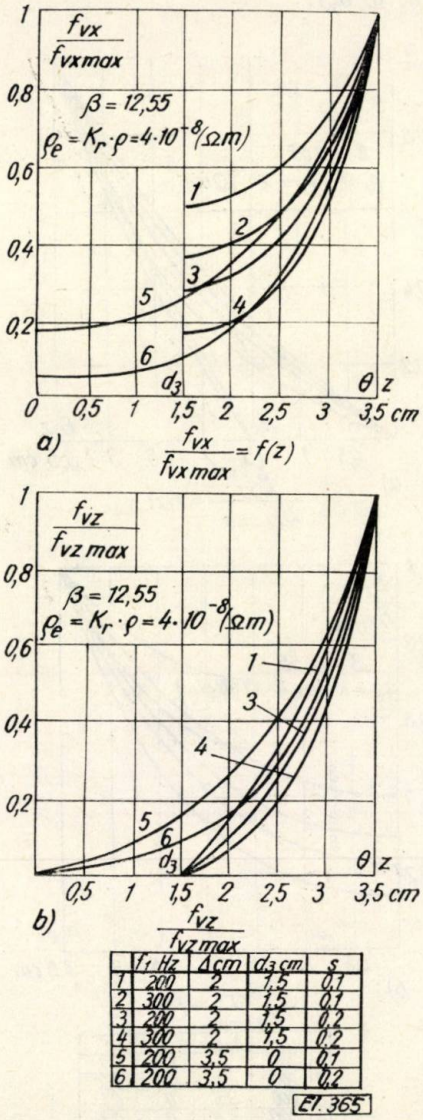
Se remarcă influenţa efectului pelicular asupra repartiţiei inducţiei şi densităţii de volum a forţei pe adîncimea indusului.

La o anumită alunecare, forţa de tracţiune electromagnetică este, evident egală cu :

$$F_x = 2l_1 \cdot L \cdot \int_{d_3}^{0} f_{vx}(z) \cdot dz, \tag{22}$$

unde L este lungimea de calcul a inductorului.

Deci, F_x este proporţional, la o anumită alunecare, cu suprafaţa mărginită de curba $f_{vx}(z)$ şi axa abscisei. Din figura 4a se observă că această suprafaţă poate deveni mai mare,



	f1 Hz	Δ cm	d3 cm	s
1	200	2	1,5	0,1
2	300	2	1,5	0,1
3	200	2	1,5	0,2
4	300	2	1,5	0,2
5	200	3,5	0	0,1
6	200	3,5	0	0,2

El. 365

Fig. 4a, b Variaţia pe grosimea indusului a componentelor longitudinale şi normale ale densităţii de volum a forţei dezvoltate de motor, raportate la valorile lor maxime.

în cazul şinei profilate, dcît în situaţia cele masive pentru aceeaşi valoare a amplitudinii păturii de curent inductoare (exemplu curbele 1, 6).

Forţa normală de natură electromagnetică este :

$$F_z = l_1 \cdot L \cdot \int_{d_3}^{\theta} f_{vz}(z)\,\mathrm{d}z. \qquad (23)$$

Calculul parametrilor schemei echivalente

Amplitudinea complexă a tensiunii magnetice între cele două armături ale inductorului este :

$$\underline{V}_\delta \cong \frac{2}{\mu_0}\left[\int_{d_3}^{0} \underline{B}_{z\,\mathrm{I}}\,\mathrm{d}z + \underline{B}_{z\,\mathrm{II}} \cdot d_1 + \underline{B}_{z\,\mathrm{III}} \cdot d_3\right] =$$

$$= 2\,\mathrm{j}\,\frac{\beta}{\underline{\gamma}}\left[\frac{1}{\underline{\gamma}} + \frac{d_1}{\mathrm{th}\underline{\gamma}\,\Delta} + \frac{d_3}{\mathrm{sh}\underline{\gamma}\,\Delta}\right] \cdot \mathfrak{A}_{1m}. \qquad (24)$$

Solenaţia necesară magnetizării maşinii, θ_μ, este practic egală cu $|\underline{V}_\delta|$, avînd în vedere faptul că maşina funcţionează nesaturat :

$$\theta_\mu = \frac{3}{2} \cdot \frac{2 \cdot K_w \cdot W \cdot \sqrt{2}\, I_{\mu\,med}}{\pi \cdot \frac{n}{2}} = |\underline{V}_\delta|, \qquad (25)$$

unde :

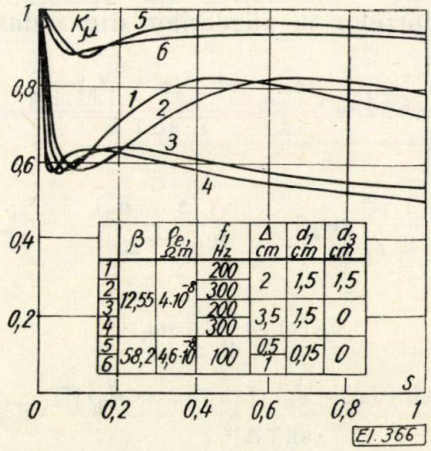
n este numărul de paşi polari ai inductorului ;
W — numărul de spire pe fază (bobinele aceleiaşi faze de pe cele două armături inductoare sînt legate în serie) ;
K_w — factorul de bobinaj ;
$I_{\mu\,med}$ — curentul mediu de magnetizare pe fază.

T.e.m. indusă într-o fază statorică de cîmpul rezultant din întrefier este egală cu :

$$E_1 \cong 2\sqrt{2} \cdot f_1 \cdot K_w \cdot W \cdot l_1 \cdot \tau \cdot |\underline{B}_{z\,\mathrm{II}}|. \qquad (26)$$

Rezultă pentru reactanţa corespunzătoare circuitului de magnetizare :

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_\mu} \cong 3\,\frac{4\,(K_w \cdot W)^2 \cdot \mu_0 \cdot f_1 \tau \cdot l_1}{\frac{n}{2} \cdot 2\delta}\,K_\mu(s), \qquad (27)$$



	β	ρe Ωm	f1 Hz	Δ cm	d1 cm	d3 cm
1	12,55	4·10⁻⁸	200	2	1,5	1,5
2			300			
3			200	3,5	1,5	0
4			300			
5	58,2	4,6·10⁻⁸	100	0,5	0,15	0
6				1		

El. 366

Fig. 5. Variaţia cu alunecarea a valorii raportate a reactanţei de magnetizare.

unde $K_\mu(s)$ este un coeficient care ţine seamă de modificarea reactanţei de magnetizare a maşinii datorită reacţiei demagnetizante a indusului

$$K_\mu(s) \cong \frac{2\delta}{\left| \frac{\text{th}\,\underline{\gamma}\Delta}{\underline{\gamma}} + d_1 + \frac{d_3}{\text{ch}\,\underline{\gamma}\Delta} \right|}. \qquad (28)$$

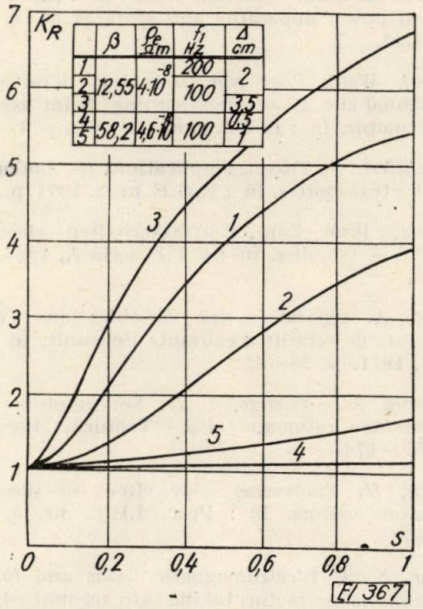


Fig. 6. Variaţia cu alunecarea a factorului de creştere a rezistivităţii indusului, ca urmare a efectului pelicular.

Variaţia coeficientului K_μ (s) este dată în figura 5 pentru diverse valori ale frecvenţei tensiunii de alimentare şi la o anumită configuraţie a indusului.

Rezistenţa echivalentă pe fază a indusului rezultă din relaţia cunoscută :

$$\frac{R_2'}{s} = \frac{3E_1^2}{P} \qquad (29)$$

unde $P = v_1 \cdot F_x$ este puterea electromagnetică a motorului.

Dacă se fac calcule rezultă :

$$R_2'(s) = \frac{6\,(K_w \cdot W)^2 \cdot l_1 \cdot \rho_e}{n/2 \cdot \tau \cdot 2\Delta} \cdot K_R(s) \qquad (30)$$

unde $K_R(s)$ este coeficientul de majorare a rezistenţei indusului datorită efectului pelicular din acesta şi anume :

$$K_R(s) \cong 2\Delta p \cdot q \frac{\text{ch}\,2p\Delta + \cos 2q\Delta}{q \cdot \text{sh}\,2p\Delta + p \cdot \sin 2q\Delta}, \qquad (31)$$

p şi q fiind părţile reale, respectiv imaginare ale mărimii complexe $\underline{\gamma}$.

Variaţia acestui coeficient este dată în figura 6 pentru anumite cazuri particulare.

Determinarea parametrilor motorului asincron liniar cu indus neferomagnetic masiv

Pentru această situaţie se poate face un calcul exact al mărimilor care intervin în problemă. Mărimile date de relaţiile (12)′ devin în situaţia în care $d_3 = 0$:

$$\underline{s} = \underline{t} = \underline{\gamma}, \qquad (32)$$

$$\underline{c} = 2\underline{\gamma} \cdot e^{-\underline{\gamma}\theta} \cdot K,$$

unde :

$$\underline{K} = \beta\,\text{sh}\,\beta d_1 \cdot \text{ch}\,\underline{\gamma}\theta + \underline{\gamma} \cdot \text{sh}\,\underline{\gamma}\theta \cdot \text{ch}\,\beta d_1.$$

Dacă se fac calculele pentru forţa electromagnetică de tracţiune, conform relaţiei (22) se obţine :

$$F_x = 2l_1 \cdot L \cdot \int_0^\theta f_{vx}(z)dz =$$

$$= \frac{1}{4}\frac{\mu_0^2}{\rho_e} s v_1 \frac{q\,\text{sh}\,2p\theta + p\sin 2q\theta}{pq \cdot |\underline{K}|^2} \cdot \mathcal{A}_{1m} \cdot l_1 \cdot L. \qquad (33)$$

Caracteristica mecanică la curent constant, dată de relaţia de mai sus, este trasată în figura 7, pentru un prototip construit experimental. Parametrii constructivi ai acestui model sînt cei indicaţi în figură. Valoarea amplitudinii păturii de curent inductoare $\mathcal{A}_{1m}$ a fost menţinută constantă şi egală cu $\sqrt{2} \cdot 200$ A/cm prin

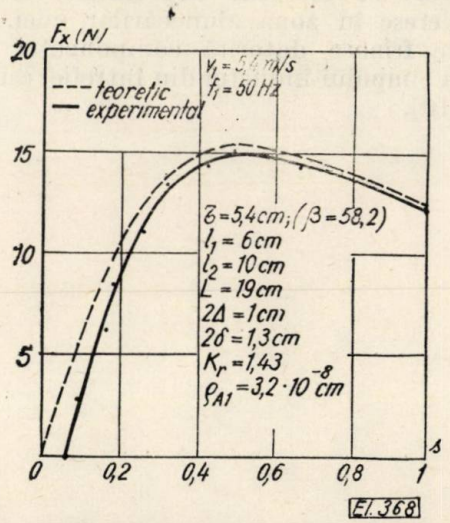


Fig. 7. Caracteristica mecanică pentru un motor asincron liniar cu indus neferomagnetic masiv realizat şi încercat experimental.

variația tensiunii de alimentare la diversele încărcări ale motorului. Instalația și procedeul de încercare imaginat este descris în [13].

Calculul parametrilor schemei echivalente în această situație, se poate face exact în același mod ca în cazul indusului profilat. Nu vom mai face acest calcul, el neaducînd nimic nou din punct de vedere teoretic.

Inductivitatea de scăpări a indusului se neglijează pentru situația în care acesta este neferomagnetic.

Coeficientul $K_i(s)$ de variație a forței de tracțiune datorită fenomenului „de margine la intrare" este practic egal cu unitatea pentru modelul studiat.

Concluzii

Lucrarea rezolvă într-o tratare unitară cazurile motorului asincron liniar plan cu simetrie axială și indus neferomagnetic. Cazul cel mai general este reprezentat de situația în care indusul are canal axial. Expresiile de calcul obținute inițial au o formă complexă și sînt greu de folosit într-un calcul de proiectare. Din acest motiv, pe baza anumitor considerente constructive, relațiile sînt simplificate mult, fără a introduce erori prea mari de calcul, cu totul admisibile din punct de vedere ingineresc.

Așa după cum am mai spus, principalele două efecte secundare, de mărire a rezistenței indusului, datorită curbării liniilor de curent în zona întrefierului, și de micșorare a cîmpului inductor la muchia de intrare a mașinii, sînt luate în considerație prin introducerea în calcule a rezistivității echivalente ρ_e, și respectiv a coeficientului $K_i(s)$ care multiplică expresia forței de tracțiune.

Se remarcă o concordanță bună a rezultatelor teoretice cu cele experimentale. Diferențele cresc în zona alunecărilor mici, unde forța de frînare datorită componentei alternative a cîmpului inductor din întrefier este mai mare [10].

Bibliografie

[1] *Ancel, I., Faure, A.* Variante d'exécution du moteur linéaire suivant les applications. În : R.G.E. nr. 2, 1971, p. 135–137.

[2] *Polonjadoff, M., Reyx, Ph.* Méthode intermédiare pour l'analyse d'un moteur a induction linéaire. In : R.G.E., nr. 2, 1971, p. 99–104.

[3] *Boon – Teck-Ooi, David C.* Wihte. Traction and normal forces in the linear induction motor. In : I.E.E. Transaction on power apparatus and systems nr. 4, 1970, p. 638–645.

[4] *Herbert, Weh., Peter von Grumbkow.* Kraftwirkungen orthogonal zur Bewegungsrichtung beim asynchronen Linearmotor. In : E.T.Z.A, nr. 1, 1972, p. 1–7.

[5] *Manchefert, Y. Tassin.* Applications du moteur linéaire dans les transportes. In : R.G.E. nr. 2, 1971, p. 121–124

[6] *Herbert, Weh.* Zum Betribsverhalten electrodenlsor M.H.D. — Wandler, În : E.T.Z. seria A, 1964, p. 395–402.

[7] *Wiart, A.* Séparation des variables ans l'étude des courtants de rotatifs a courants Foucault. În : R.G.E. nr. 1, 1971, p. 20–26

[8] *Fransua, Al., Teodorescu, D.* Servomotoare electrice în sisteme automate. Ed. Tehnică, 1966, Buc., p. 157–174.

[9] *Bollon, H.* Transverse edge effect in shect – rotor induction motors. In : Proc. I.E.E. nr. 5, 1969, p. 725–731.

[10] *Nasar, S. A.* Electromagnetic fields and forces in a linear induction motor, taking into account edge effects. In: Proc. I.E.E. nr. 4, 1969, p. 605–609.

[11] *Andrei, R.* : Determinarea repartiției cîmpului magnetic în întrefierul liniar cu inductorul scurt și conexiunea serie a bobinajului. În : Electrotehnica nr. 11, 1970, p. 417–425.

[12] *Tsih, C. Wang.* Linear induction motor for high – speed ground transportation. In : I.E.E. Transaction on industry and general application, nr. 5, 1971, p. 632–642.

[13] *Andrei, R.* Instalație experimentală de laborator pentru studiul motoarelor electrice liniare cu indus masiv de formă placă. Inovație nr. 3118 din 31.01.1973.

Intrat în redacție la 13 XI 1972

Unele concluzii privind efectele electrodinamice asupra osiei dispuse pe şine, alimentate în curent continuu

MIRCEA OPRIŞOR — Iaşi şi GHEORGHE TEODOR — Vaslui*

CZ 621.335.2.014.32:621.3.024

Fenomenul producerii mişcării osiei montate, dispusă pe şine izolate electric şi alimentate la o polaritate diferită (fig. 1), este prezentat în cîteva lucrări. Concluziile diferiţilor autori sînt contradictorii. În esenţă, J. Huber [1] susţine natura electrodinamică a fenomenului motor pe care îl explică în baza ipotezei formării unui „cîmp fixat spaţial". La rîndul lor, Dr. Schrader [2], H. Hofmann şi J. Koller [3] presupun un proces de natură pneumatică, care ar rezulta prin evaporarea materialelor din zona arcului electric, produs în vecinătatea punctelor de contact dintre roţi şi şine, iar H. Glück [4] susţine ipoteza că mişcarea ar rezulta datorită cîmpurilor produse de curenţii turbionari ce ar circula în planul roţilor. Caracteristică celor trei ipoteze, este limitarea fenomenului la punctele de contact, sau cel mult la discul ce rulează pe şină.

Considerînd mişcarea ca un fenomen pur mecanic, în prezenta lucrare ne-am propus să elucidăm în primul rînd parametrii ce o pot influenţa, pentru ca în final să putem trage unele concluzii asupra fenomenelor ce o produc sau care o pot dirija. Au fost concepute modele experimentale speciale (fig. 2) şi s-a procedat la o serie de încercări pe baza cărora au fost trasate grafice de mişcare viteză-timp, evidenţiindu-se pe rînd influenţa unor parametri. Modelul experimental a fost conceput cu posibilitate de reglare a orizontalităţii, a ecartamentului şinelor şi osiei şi a greutăţii osiei. În acest scop şinele *8* sînt montate pe semi-

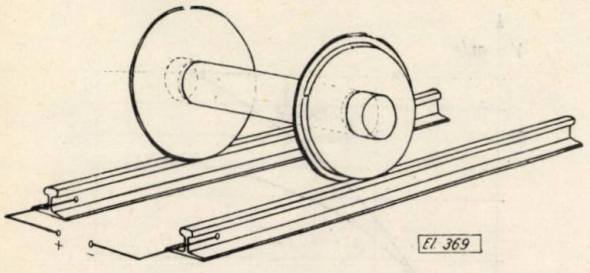


Fig. 1. Osia montată dispusă pe şine izolate electric şi alimentate în curent continuu.

traverse izolante, ridicate de la sol; astfel greutăţile suplimentare *G*, suspendate pe osie prin intermediul rulmentului *7* se deplasează liber o dată cu osia, iar aceasta din urmă nu suferă descentrări. În traverse sînt practicate găuri alungite pentru fixarea şinelor la ecartamentul dorit *e*. Şinele din aluminiu, bronz etc., fiind sub formă de bară dreaptă, au fost fixate prin şuruburi pe şinele de fier profilat în *T*. Roţile, compuse din obada *1* şi discurile *2*, sînt montate pe osia *4* prin intermediul piuliţelor *3*; sistemul permite înlocuirea uşoară a discurilor şi obezilor de diametre diferite.

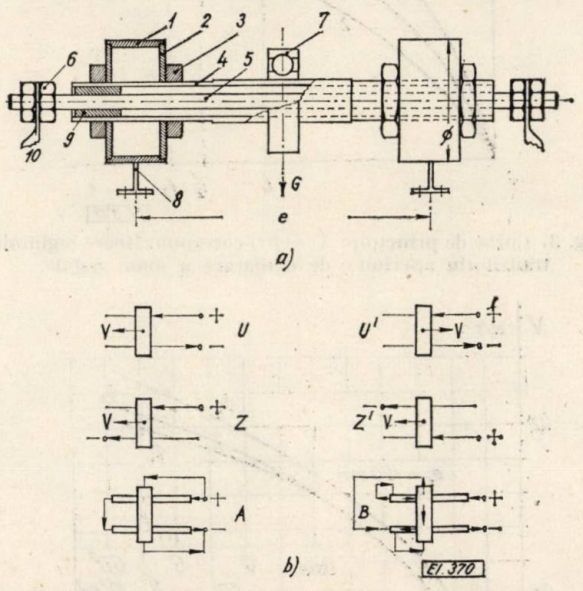


Fig. 2. Sistemul constructiv şi funcţional al modelului experimental : a) construcţia osiei reglabile cu ax dublu ; b) scheme de principiu pentru alimentarea şinelor şi osiei, folosite în cursul experienţelor.

În interiorul osiei goale *4*, cu ajutorul unor izolatoare *9*, este montat axul *5*, alimentat separat prin papucul de cablu *10* şi piuliţele *6*.

Încercările au fost efectuate pentru o singură poziţie a instalaţiei şi un singur sens de deplasare a modelului de osie, comutînd în schimb bornele de alimentare. În acest fel au fost menţinute aceleaşi condiţii de orizontalitate şi planeitate. Încercările în curent alternativ nu au avut decît un caracter de verificare.

Producerea mişcării

Pentru început reamintim că un grafic $V = f(t)$ de tipul 1 (fig. 3) indică deplasarea accelerată a unui mobil, începînd din momentul $t=0$, în care este aplicată forţa motoare $F_m = \text{ct.}$ şi pînă în momentul $t = t_1$, în care valoarea forţei rezistente egalează pe cea a forţei motoare; după t_1 mişcarea continuă cu viteză

* Ing. *M. Oprişor* este şef de lucrări la I. P. Iaşi, iar ing. *Gh. Teodor* lucrează la Fabrica de ventilatoare din Vaslui.

constantă. Concavitatea în jos a curbei indică diminuarea forței acceleratoare F_a o dată cu creșterea energiei cinetice acumulate în masa în mișcare și cu creșterea cu viteza a forței rezistente F_r: $F_m = F_a + F_r$. Continuitatea curbei indică invarianța în timp a forței motoare. În comparație cu acest caz, curba de tip 2 indică, pentru o aceeași forță motoare și o

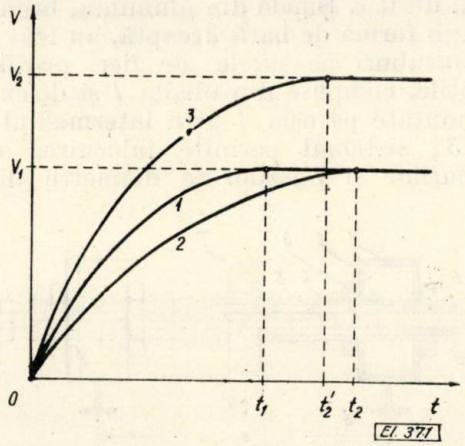
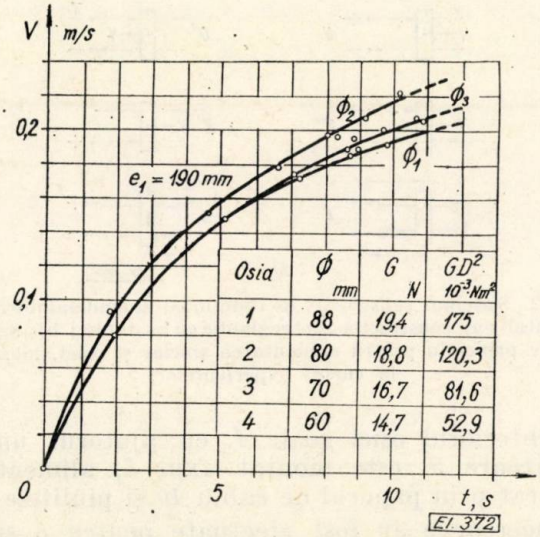


Fig. 3. Curbe de principiu $V = f(t)$ corespunzătoare regimului tranzitoriu aperiodic de demarare a unor mobile.



Osia	Φ mm	G N	GD² 10⁻³ Nm²
1	88	19,4	175
2	80	18,8	120,3
3	70	16,7	81,6
4	60	14,7	52,9

Fig. 4. Caracteristicile experimentale $V = f(t)$ obținute pe un model cu ecartamentul $e_1 = 190$ mm pentru evidențierea influenței diametrului de rulare ∅ al osiei.

aceeași forță rezistentă, deplasarea unui mobil cu moment de inerție diferit, care solicită și o durată de accelerare diferită. În același timp, curba de tip 3 indică deplasarea primului mobil (deci același moment de inerție) în cazul aplicării unei forțe motoare mai mari.

Forma tuturor curbelor trasate pentru cazul nostru arată că forța motoare nu variază în timp și nu depinde de viteză.

Pentru analiza influenței masei de inerție, în figura 4 sînt date curbele viteză-timp (total 1260 citiri) avînd ca parametru diametrul de rulare (Ø), respectiv greutatea părții mobile. Se remarcă o diferențiere minimă între curbe pentru o variație a masei de aproximativ 25 % și a diametrului de aproximativ 32 %. Totuși se constată că forța motoare variază cu dimensiunile geometrice, fapt ce nu poate fi legat decît de mărimea diametrului de rulare. Dacă se consideră curbele similare, trasate pentru un ecartament redus în figura 5 (315 citiri) observăm, contrar legilor mecanicii, o creștere a forței acceleratoare cu diametrul, respectiv masa mobilului. Acest fenomen își poate găsi explicația în faptul că o creștere a diametrului este însoțită de creșterea volumului discului roților și prin urmare de scăderea densității curenților turbionari. În acest fel este evidențiat indirect efectul de frînare al acestor curenți.

Diminuarea evidentă a forței motoare, în cazul ecartamentului redus (fig. 5 față de fig. 4), ne-a făcut să analizăm, în figura 6 (total 630 citiri), influența acestui parametru. Se constată, în adevăr, o scădere a forței motoare cu ecartamentul. În plus, se observă că la viteze sub 0,1 m/s influența forței rezistente (a frecărilor)

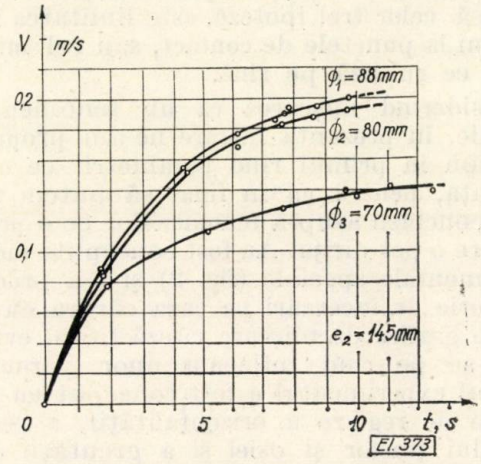


Fig. 5. Aceleași caracteristici ca și în figura 4 obținute în cazul ecartamentului $e_2 = 145$ mm.

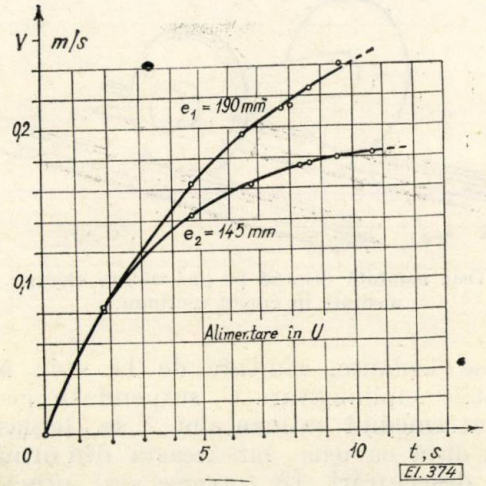


Fig. 6. Caracteristicile experimentale „medii" pentru alimentarea în U și o deplasare în sensul măririi buclei de curent. Se remarcă păstrarea alurii și a dimensiunilor scării prin raport cu caracteristicile „individuale" din figurile 4—5.

aproape nu se resimte, iar peste această limită creşterea rapidă cu viteza F_r tinde să o stabilizeze (în cazul ecartamentului mai mic) încă din cea de a 12-a secundă. Asemenea constatare duce la explicarea fenomenului prin procesele electrodinamice din bucla de curent. În consecinţă, s-a căutat să se pună în evidenţă influenţa schemei de alimentare a şinelor.

În figura 7 au fost trasate curbele viteză-timp pentru o alimentare în U (fig. 2, b) şi o deplasare în sensul măririi buclei de curent (curba U — 315 citiri) sau al micşorării ei (curba U' — 315 citiri), ca şi la alimentarea în Z (curba Z — 630 citiri). Pentru schema Z s-a realizat atît comutarea sensului curenţilor (Z, Z' din figura 2, b), cît şi a polarităţii şinelor, fără a se obţine diferenţe între rezultate. Aspectul curbelor indică o diferenţă minimă între cele două alimentări în U, în favoarea cazului măririi buclei de curent. Trebuie conchis că fenomenul măririi buclei de curent contribuie la dezvoltarea forţei motoare, dar nu este hotărîtor. Diferenţa mult mai mare dintre forţele motoare produse, în cazul curbelor U' şi Z, pune în evidenţă influenţa sensului cîmpurilor create de cele două şine. Acest fenomen se dovedeşte a avea o importanţă deosebită în producerea forţei motoare.

Pentru o mai bună orientare asupra naturii fenomenelor ce concură la dezvoltarea forţei motoare am considerat necesar să urmărim şi influenţa parametrilor electrici. Corespunzător funcţionării în scurtcircuit a sistemului, chiar şi în cazul unei surse de alimentare de mare

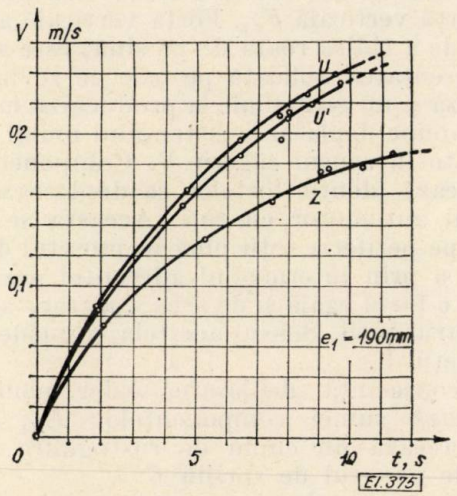


Fig. 7. Caracteristicile experimentale „medii" pentru analiza influenţei fenomenelor din bucla de curent, obţinute pentru ecartamentul $e_1 = 190$ mm.

putere, tensiunea este mică şi, practic, nu prezintă variaţii. Deoarece în cursul deplasării osiei nu se observă variaţii ale curentului puterea absorbită va fi constantă. Aceasta concordă curbelor $F = f(V)$ date de Huber [1], cu alură de hiperbolă echilateră.

În baza datelor experimentale, în figura 8 (3×420 citiri) au fost trasate curbele $V = f(t)$ la curent constant. Astfel, este pusă în evidenţă o valoare optimă a curentului din punct de vedere al valorii maxime a forţei motoare (≈ 200 A). Extinderea domeniului

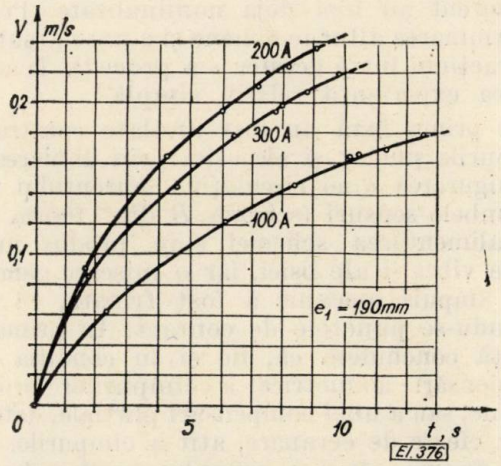


Fig. 8. Caracteristicile experimentale „medii" obţinute la reglarea curentului de alimentare a modelului cu ecartamentul $e_1 = 190$ mm.

de reglare a curentului spre valorile mici duce la micşorarea vitezei şi apoi la dispariţia oricărei tendinţe de mişcare, sub circa 40 A. Această valoare limită minimă indică dependenţa forţei motoare faţă de curent. Pentru extinderea domeniului de reglare spre valorile mari ale curentului trebuie remarcat că sursa de alimentare folosită ($I_n = 1000$ A la $U_n = 15$ V) nu justifică o limitare a puterii furnizate. Observînd că mişcarea nu se mai produce la curenţi de ordinul a 600 A, explicaţia trebuie căutată, fie în frînările datorate curenţilor turbionari, fie în fenomenele de sudare a punctelor de contact. Prima ipoteză contrazice explicarea mişcării prin curenţi turbionari, iar a doua contravine explicării ei prin fenomene pneumatice. Opiniem, deocamdată, pentru ambele explicaţii.

Natura fenomenului

Soluţia constructivă a modelului (fig. 2) a fost adoptată în funcţie de cerinţele impuse acestuia: posibilitatea de reglare a ecartamentului, a diametrului de rulare şi a greutăţii aplicate pe osie. În prealabil au fost efectuate încercări cu modele de osii în miniatură, sau cu cilindri goi de diametre şi greutăţi diferite, fără a sesiza diferenţe de comportare în funcţie de forma constructivă. De altfel, fenomenele de bază au fost remarcate, practic, fără diferenţe, şi la alte soluţii constructive [3, 4], precum şi cu unele mici diferenţe, pe osia reală [1]. Tragem de aici concluzia că ipotezele bazate pe fenomenele produse în masa roţii

nu pot avea o bază sigură. De asemenea, conchidem că observaţiile şi concluziile noastre pot fi generalizate.

Analiza efectuată în prima parte a lucrării pune în evidenţă colaborarea mai multor fenomene la producerea mişcării, dintre care cîmpurile produse de conductoarele parcurse de curent au fost deja nominalizate. Pentru determinarea altor fenomene şi a unor eventuale interacţiuni între acestea s-a procedat la următoarea experienţă relativ simplă.

În prima fază au fost anulate constructiv cîmpurile şinelor şi ale osiei prin dublarea lor şi asigurarea unei circulaţii a curentului total în ambele sensuri (schema *B* din figura 2.b). La alimentarea schemei s-au produs numai unele vibraţii ale osiei, iar o mişcare generată prin impuls mecanic a fost frînată, în final sudîndu-se punctele de contact. În prima instanţă conchidem că, fie şi în condiţia unei compensări asimetrice a cîmpurilor produse de şine, sau a unei compensări parţiale, datorită unor efecte de ecranare, atît a cîmpurilor produse de şine, cît şi a cîmpului produs de osie, este evidenţiată o dată în plus contribuţia cîmpurilor la generarea mişcării osiei.

În al doilea rînd conchidem că fenomenele pneumatice, care nu pot fi infuenţate de cîmpul electromagnetic, nu concură la producerea forţei motoare. Deoarece însă, în absenţa cîmpurilor electromagnetice au fost remarcate fenomene de contact, care au tendinţa de a produce mişcarea dar cu un efect foarte redus, dînd naştere în final la sudări ale punctelor de contact, conchidem, în fine, că natura fenomenului studiat este legată de arcul electric produs la contactul roată-şină.

În cea de a doua fază a experienţei au fost eliminate fenomenele legate de punctele de contact, menţinîndu-se de asemenea, (constructiv) numai cîmpurile conductoarelor parcurse în mod normal de curent (schema *A* din figura 2.b). Ca şi în cazul stropirii şinelor cu o soluţie acidă [3], bună conducătoare de electricitate şi care deci, elimină arcul electric, mişcarea nu s-a mai produs. Este evident că soluţia problemei trebuie găsită în interacţiunea dintre arcul electric şi cîmpurile electromagnetice, fenomenul motor principal fiind o interacţiune electrodinamică. În consecinţă, să considerăm forţa electrodinamică exercitată de arcul electric asupra pieselor de contact în speţă, pe obada roţii şina fiind imobilă. Construcţia grafică explicativă din figura 9 are la bază următoarele ipoteze normale :

— arcul electric se produce, în regim stabilizat, în partea în care punctele de contact se depărtează. Acesta se aprinde după stabilirea distanţei critice ($l = DC \approx A_1B_1 \approx A_2B_2$ în fig. 9) a cărei mărime este independentă faţă de diametrul obezii roţii ;

— linia mediană a arcului electric, în condiţii normale, este echidistantă faţă de punctul de sprijin *C* (în figura 9a este reprezentată prin arcele de cerc cu centrul în punctul *C* : A_1B_1, respectiv A_2B_2, iar în figura 9b prin arcul de cerc A_1B_1 de pe sectorul $K'K'$ cu centrul de asemenea în C') ;

— deformarea liniei mediane de curent din arcul electric, datorită fenomenelor de suflaj electromagnetic, se face tot după un arc de cerc, cu centrul situat pe mediana distanţei dintre punctele de contact (în figura 9b arcul A_1B_1 de pe segmentul circular $K''K''$ cu centrul în C'') ;

— rezultanta forţelor de apăsare pe obada roţii, datorate tuturor liniilor de curent din arcul electric, este tangentă la linia mediană de curent. Mărimea ei este independentă de diametrul roţii şi de presiunea pe contact, respectiv greutatea roţii, depinzînd, în principal, de curentul *I*, de diametrul secţiunii circulare echivalente a arcului electric *d* şi de diametrul secţiunii circulare echivalente a contactului *D*, după relaţia cunoscută [5], de forma :

$$F_1 = K_1 \cdot I^2 \cdot \mathrm{In} \frac{D}{d} \qquad (1)$$

Forţa de apăsare a obezii în punctul A_1 (fig. 9a) notată prin F_1, poate fi descompusă într-o componentă normală la suprafaţa de rulare F_{N1} şi o componentă tangenţială la aceeaşi suprafaţă F_{T1}. Componenta F_{N1} acţionează direct asupra centrului de greutate, pe care îl presupunem în centrul geometric al roţii unde dă naştere la o forţă orizontală F_{H1} şi o forţă verticală F_{V1}. Forţa verticală are tendinţa de a ridica roata de pe şină, este anulată prin greutatea aplicată pe osie ce revine roţii în cauză şi nu contribuie la producerea mişcării. F_{H1} impune deplasarea sistemului mobil al osiei montate în sensul săgeţii *V*. Componenta F_{T1} acţionează identic forţelor ce deplasează orice vehicul automotor cu roţi. Aceasta se deplasează pe periferia roţii pînă în punctul de sprijin *C* şi prin intermediul aderenţei are ca rezultat o forţă egală şi de sens contrar, aplicată în centrul roţii. Sensul acesteia coincide cu cel al săgeţii *V*.

În consecinţă, deplasarea osiei montate se datorează sumei componentelor F_{H1} şi F_{T1}, care creează un cuplu de rostogolire a osiei faţă de punctul de sprijin *C*.

Încadrarea altor observaţii în noua ipoteză

De la început se remarcă dependenţa cuplului motor astfel produs faţă de mărimea componentelor F_{H1} şi F_{T1}, respectiv faţă de mărimea şi poziţia forţei de apăsare pe obadă F_1. Mărimea acesteia conform ecuaţiei (1) este dependentă, pentru un anumit domeniu de valori, de mărimea curentului prin şine şi osie *I*. Poziţia lui F_1

va depinde în schimb de mărimea diametrului roţii, ca şi de forma liniei de curent mediane din arcul electric.

Dacă se consideră o roată cu diametrul mărit ($R_2 = 2 \cdot R_1$, în fig. 9.a) forţa de apăsare pe obadă, de aceeaşi mărime pentru un acelaşi curent, va fi tangentă la linia mediană corespunzătoare A_2B_2. Prin descompunerea lui

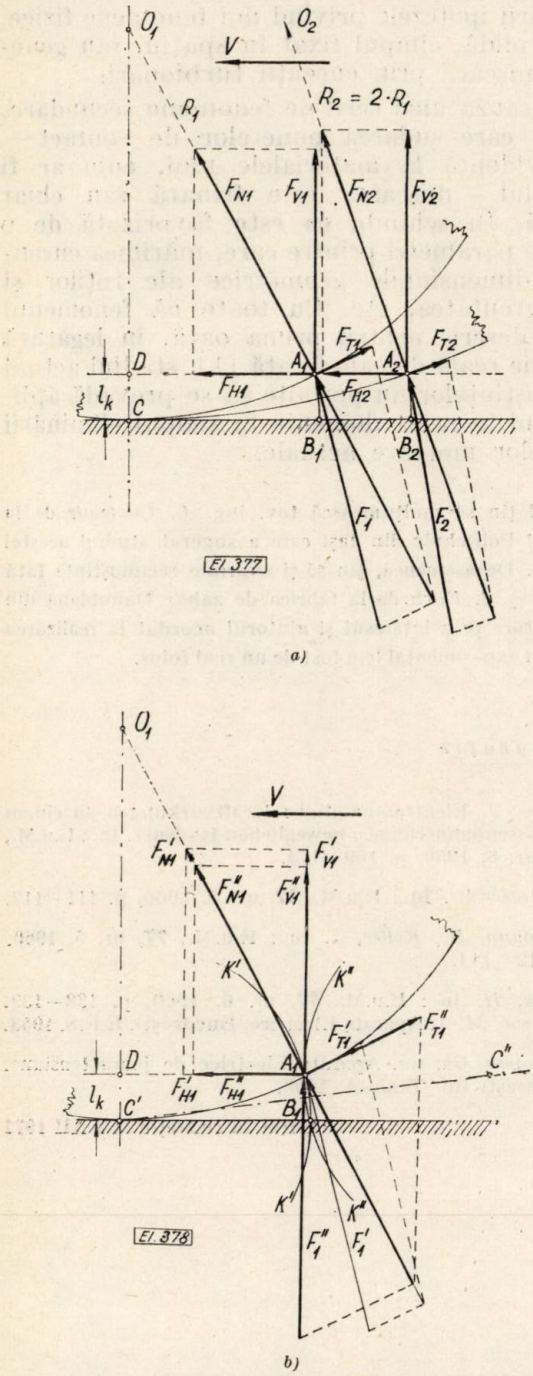


Fig. 9. Compararea mărimilor forţelor primare (F_1; F_2; F_1' şi F_1'') şi a forţelor de tracţiune (F_{H1}; F_{T1}; F_{H2}; F_{T2}; F_{H1}'; F_T'; F_{H_1}'' şi F_{T_1}'') rezultate în baza noii teorii asupra micşării osiei, pentru : a) roţi de diametre diferite în raportul ½; b) suflajul arcului electric de contact în spaţiul dintre roată şi şină.

F_2 va rezulta $F_{H2} < F_{H1}$ şi $F_{T2} < F_{T1}$, însă diferenţele dintre mărimile acestor componente echivalente sînt neesenţiale în timp ce diametrele roţilor diferă în raportul ½. În consecinţă mărimea forţei motoare $F_H + F_T$ este puţin influenţată de raza de rulare, în timp ce mărimea cuplului motor este direct proporţională cu aceasta, justificîndu-se rezultatele din figura 5.

Dacă se consideră fenomenele electrodinamice ce duc la deformarea liniei de curent mediane, produse de cîmpul şinei, va trebui să admitem ambele direcţii posibile şi anume :

— „Extinderea" arcului electric în sens opus mişcării ; forţa F_1 tinde să se apropie de F_{N1}, iar F_{T1} să se anuleze. Creşterea lui F_{N1}, ce ar rezulta prin aceasta, este neesenţială, iar creşterea lui F_{H1} nu va compensa diminuarea lui F_{T1}. Această situaţie nu favorizează mişcarea osiei.

— „Absorbţia" arcului electric sub roată, aşa cum se observă în figura 9.b, indică o creştere importantă a componentei $F_{T1}'' > F_{T1}'$ şi o diminuare neînsemnată a componentei $F_{H1}'' < F_{H1}'$, situaţie ce favorizează mişcarea osiei.

Privind fenomenul în acest mod, se poate explica imposibilitatea mişcării osiei în cazul eliminării cîmpurilor şinelor. De asemenea, se explică diminuarea forţei motoare odată cu scăderea curentului (fig. 8), ca şi încetinirea mişcării în cazul curenţilor mari ; aici absorbţia mult mai puternică a arcului electric determină topirea suprafeţelor de contact la distanţe mult mai mici ca l_k, favorizînd sudarea contactului. Totodată, creşterea diametrului obezii, asigurînd un spaţiu mult alungit de înălţime $\approx l_k$, în care nu se ajunge nici la sudarea contactului şi nici la stingerea arcului prin răcire, permite curenţi şi forţe motoare majorate. În felul acesta se justifică de ce la osia reală montată [1] nu au fost remarcate scînteile şi zgomotele produse de arcul electric, chiar şi la curenţi de ordinul a 13 kA.

Explicaţia dată naturii fenomenului principal ce produce mişcarea osiei permite să se justifice şi sensul aleator de deplasare a acesteia. Se poate, deci, afirma că sensul de deplasare este impus de poziţia arcului electric faţă de punctul de contact al roţii cu şina. Cum amorsarea arcului este posibilă de ambele părţi ale acestui punct şi se va produce întotdeauna de acea parte unde, între microasperităţile celor două suprafeţe, se obţine mai repede spaţiul critic l_k şi cum conducţia este asigurată prin arcul deja aprins, partea opusă a punctului de contact rămînînd pasivă, deducem că deplasarea va fi condiţionată de poziţia în care se menţine un arc stabil. În primele momente după alimentarea sistemului, sau în alte cazuri de instabilitate a arcului electric, este posibilă aprinderea succesivă a acestuia în ambele părţi ale punctului de contact fapt ce generează vibraţiile

sesizate, în anumite condiții, de noi, ca și de alți autori. Tot instabilitatea arcului electric poate justifica și mișcarea pendulară, obținută în cazul unor curenți, respectiv unor presiuni de contact, de valori reduse. În acest caz este suficientă o întrerupere temporară a arcului pentru ca la vitezele mici ale osiei să se poată aprinde un arc de partea opusă reversînd mișcarea osiilor model cu masă de inerție redusă. Funcționarea regulată, obținută la curenți de peste 100 A (pe model), se explică prin menținerea stabilă a arcului electric în partea în care electrozii se distanțează.

Diferența dintre curbele U' și Z (fig. 7) are explicația în suflajul (absorbția) diferit al arcului uneia dintre roțile osiei. La schema U', arcul are poziția $K''K''$ (fig. 9 b), la ambele roți, iar la schema Z arcul uneia dintre roți trece în poziția $K'K'$. Aceasta presupune reducerea forței motoare la circa jumătate, fapt ilustrat de curbele citate.

Influența fenomenelor legate de bucla de curent (curbele U și U' din fig. 7), mult mai puțin importante ca valoare, se justifică simplu prin însăși relația lor analitică [5], [6]:

$$F_2 = K_2 \cdot I^2 \left(\ln \frac{e}{r_0} + 0{,}25 \right) \qquad (2)$$

în care: e este ecartamentul șinelor, iar r_0 este raza secțiunii circulare echivalente unei șine; coeficientul K_2 este cu aproximație de 10—100 ori mai mic decît coeficientul K_1 din ecuația (1).

Din analiza de mai sus se observă că toate observațiile experimentale pot fi justificate exclusiv prin noua ipoteză privind natura forței motoare.

Concluzii

Fenomenul ce produce mișcarea osiei montate, dispusă pe șine alimentate în c.c., are o natură electrodinamică multiplă. Preponderente sînt fenomenele de interacțiune dintre arcul electric și cîmpul creat de curent prin șină, produse în preajma punctelor de contact.

Cu toate că nu s-a urmărit refacerea experiențelor altor autori, concluziile prezentei lucrări permit infirmarea unor teorii, cum ar fi cea a naturii pneumatice a fenomenului. În plus, considerînd fenomenul ca o nouă modalitate de evidențiere a forțelor electrodinamice legate de arcul electric, sînt puse sub semnul întrebării ipotezele privind noi fenomene fizice, ca, de pildă, cîmpul fixat în spațiu, sau generarea mișcării prin curenții turbionari.

Din cauza unei serii de fenomene secundare, printre care sudarea punctelor de contact — mai evidentă la materialele moi, cum ar fi aluminiul — mișcarea este frînată sau chiar anulată. În schimb, ea este favorizată de o serie de parametri printre care, mărimea curentului, dimensiunile geometrice ale roților și osiei, greutatea, etc. Cu toate că fenomenul a fost descris pentru prima oară, în legătură cu o osie reală de cale ferată [1], stadiul actual al cunoștințelor nu permite să se prevadă aplicarea lui în acest domeniu în scopul eliminării sistemelor motoare actuale.

Autorii țin să mulțumească tov. ing. *L. Cantemir* de la Institutul Politehnic din Iași care a sugerat studiul acestei probleme. De asemenea, țin să-și exprime recunoștința față de tov. ing. *I. Fetcu* de la fabrica de zahăr Danubiana din Roman, care prin interesul și ajutorul acordat la realizarea modelului experimental le-a fost de un real folos.

Bibliografie

[1] *Huber, J.* Elektrodinamische Kraftwirkungen an einem auf Eisenbahnschienen beweglichen Radsatz. In : E.u.M., **76**, nr. 8, 1959, p. 169—174.

[2] *Schrader, Dr.* În : E.u.M., **77**, nr. 5, 1960, p. 111—112.

[3] *Hofmann, H., Koller, J.* În : E.u.M., **77**, nr. 5, 1960. p. 112—114.

[4] *Glück, H.* In : E.u.M., **77**, nr. 6, 1960, p. 138—139.

[5] *Babicov, M. A.* Aparate Electrice, București, E.E.S. 1953.

[6] *Horlopan, Gh.* ș.a. Aparate Electrice de joasă tensiune. București Ed. Tehnică, 1969.

Intrat în redacție la 2 XII 1971

Pilele cu combustibil lichid – surse chimice de curent cu eficienţă superioară. Principalele tipuri de pile cu combustibil lichid.

MARIA, MAVRODIN – TĂRĂBÎC, IOANA, ONACA şi ION SOLACOLU* – Bucureşti

CZ 621.352.6.016.36

Într-o lucrare anterioară [1] am arătat principalele condiţii pe care trebuie să le îndeplinească sistemul combustibil — electrolit — oxidant, astfel încît o pilă cu combustibil lichid să prezinte performanţe electrochimice superioare. Am arătat că, în ordinea eficienţei lor, combustibilii care pot fi folosiţi cu succes în aceste surse chimice de curent sînt: hidrazina, metanolul, mono- şi polialcoolii, amoniacul.

Este important de menţionat că prima pilă cu combustibil lichid este de concepţie românească, fiind realizată de către N. Vasilescu-Karpen în anul 1938, care la al XX-lea Congres de Electrotehnică de la Praga a prezentat comunicarea „Sur l'utilisation de l'energie d'oxydation de l'alcool dans une pile èlectrique" [2]. Lucrări importante în acest domeniu au fost realizate în ţara noastră la Institutul de cercetări energetice al Academiei Republicii Socialiste România, de către un colectiv condus de M. Marinescu [3]—[6].

În cele ce urmează vom prezenta caracteristicile constructive şi de funcţionare, precum şi performanţele realizate în principalele tipuri de pile cu combustibil lichid, construite pînă în prezent.

1. Pila cu metanol

Schema principială de funcţionare a pilei cu metanol este prezentată în figura 1.

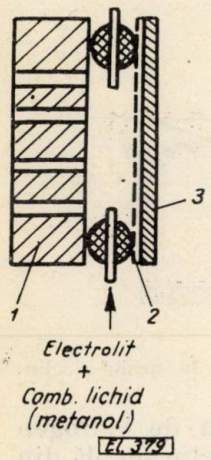


Fig. 1. Schema principială de funcţionare a pilei cu metanol.
1 – catod; 2 – izolator; 3 – anod

Reacţiile care stau la baza producerii curentului electric în pilele cu metanol sînt:

*) Dr. ing. *Maria Mavrodin-Tărabîc*, *Ioana Onaca* şi dr. ing. *Ion Solacolu* sînt cercetători principali la Centrul de chimie fizică din Bucureşti.

- *în mediu acid*

catod: $3/2\ O_2 + 6\ H^+ + 6e^- \rightarrow 3H_2O$

anod: $CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^-$

$$CH_3OH + 3/2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

căreia îi corespunde o forţă electromotoare $E_{25°C} = 1{,}185$ V,

- *în mediu alcalin*

catod: $3/2\ O_2 + 3H_2O + 6e^- \rightarrow 6\ OH^-$

anod: $CH_3OH + 6\ OH^- \rightarrow CO_2 + 5H_2O + 6e^-$

$$CH_3OH + 3/2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

căreia îi corespunde o forţă electromotoare $E_{25°C} = 1{,}252$ V.

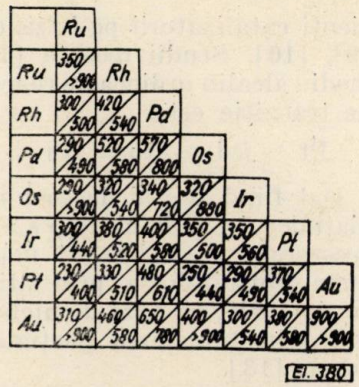


Fig. 2. Supratensiunile oxidării metanolului pe metale de tranziţie şi aliajele lor, în mediu acid, la temperatura de 25°C (jos) şi 80°C (sus).

În electrolitul alcalin are loc reacţia dintre bioxidul de carbon format ca urmare a electrooxidării metanolului, şi hidroxidul de potasiu, cu formare de carbonat de potasiu. Prezenţa carbonatului de potasiu nu influenţează sensibil performanţele pilei, dar acumularea acestuia în cantităţi mari provoacă blocarea progresivă a electrozilor cu carbonatul de potasiu precipitat; acest inconvenient impune regenerarea continuă a electrolitului în instalaţii speciale de decarbonatare.

Binder, Köhling şi Sandstede [7] au studiat influenţa catalitică a metalelor platinice asupra electrooxidării metanolului la temperaturile de 25 şi 80°C în soluţie 4,5 N de acid sulfuric; ei au preparat anozi din aliaje 50—50 de metale catalitic active, şi datele de supratensiune obţinute la o densitate de curent de 50 mA/cm² sînt prezentate în figura 2.

Din examinarea valorilor supratensiunilor din figura 2, reiese că ordinea reactivităţii catalitice a metalelor platinice în reacţia de oxidare a metanolului în mediu acid este:

$$Os > Ru = Ir > Pt > Rh > Pd,$$

și corespunde rezultatelor obținute de Breiter pe metale pure [8].

Pentru activarea electrooxidării metanolului în mediu alcalin s-au dovedit deosebit de efi-

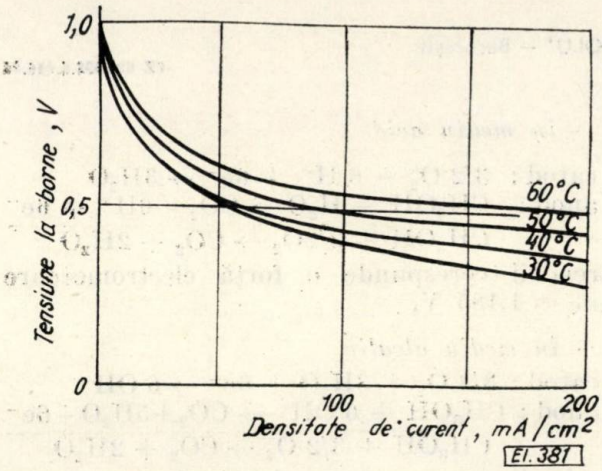


Fig. 3. Performanțele unei pile cu metanol 6N și electrolit hidroxid de potasiu 6N.

cienți catalizatorii pe bază de metale platinice [9], [10]. Studii recente [7] au arătat că în mediu alcalin ordinea de reactivitate a metalelor de tranziție este:

$$Pt > Pd > Ru = Rh > Ir > Os > Au.$$

Dat fiind prețul de cost ridicat al metalelor platinice, în ultimul timp s-a încercat înlocuirea acestora cu catalizatori mai ieftini, rezultate bune obținîndu-se prin utilizarea electrozilor de tip DSK, pe bază de nichel Raney [11], [12] sau prin înlocuirea parțială a paladiului cu cupru [13].

S-au construit numeroase sisteme de pile cu combustibil alimentate cu metanol, în medie performanțele obținute fiind de 50...100 mA/cm² la o tensiune la borne de 0,4..0,6 V.

S-a încercat înlăturarea dezavantajului amintit mai înainte — carbonatarea electrolitului alcalin — prin utilizarea unui electrolit acid (acid sulfuric, acid fosforic), dar, în prezența metanolului, electrodul de oxigen este puternic polarizat deoarece nu se cunoaște nici un catalizator stabil în mediu acid și indiferent față de metanol. De aici, necesitatea separării anolitului de catolit prin utilizarea unor membrane impermeabile pentru metanol [14].

În figura 3 sînt reprezentate performanțele unei pile cu metanol 6N, electrolit alcalin, hidroxid de potasiu 6N și electrod de nichel activat.

2. Pila cu hidrazină

Dintre combustibilii lichizi utilizați în sursele chimice de curent se distinge prin bunele performanțe realizate, hidrazina, care se oxidează în același domeniu de potențial ca și hidrogenul.

Schema principială de funcționare a unei pile cu hidrazină este prezentată în figura 4.

Reacția de oxidare anodică a hidrazinei [15]—[24] este :

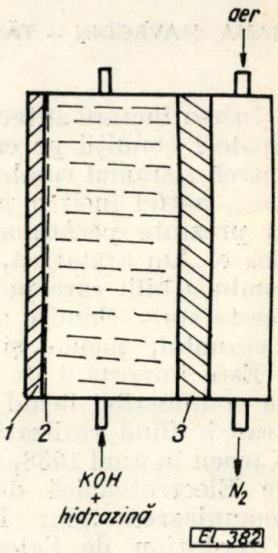


Fig. 4. Schema principială de funcționare a pilei cu hidrazină. *1*—anod; *2*—catalizator; *3* — catod.

— *în mediu acid* :

$$N_2H_5^+ \rightarrow N_2 + 5H^+ + 4e^-,$$

— *în mediu alcalin* :

$$N_2H_4 + 4\,OH^- \rightarrow N_2 + 4\,H_2O + 4\,e^-.$$

În figura 5 este prezentată schema electrooxidării hidrazinei în mediu alcalin.

În scopul activării electrooxidării hidrazinei au fost încercați cu succes catalizatori pe bază de metale platinice, nichel și borură de nichel [25]

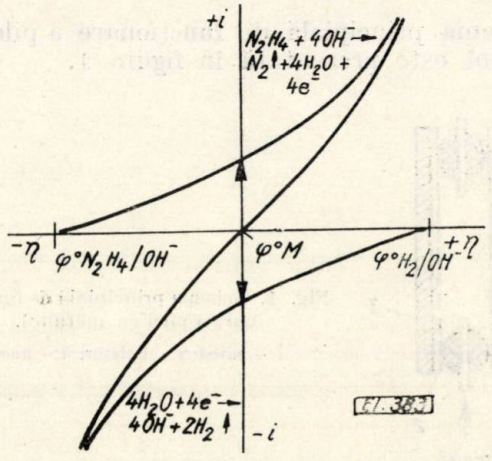


Fig. 5. Schema electrooxidării hidrazinei în mediu alcalin.

Hidrazina este o sursă ideală de hidrogen reactiv și un electrod de construcție simplă din nichel poros activat cu paladiu poate furniza o densitate de curent de 500 mA/cm², la temperatura de 70°C cu o polarizare de numai 0,1 V, într-o soluție 25 % de hidroxid de potasiu, care conține numai 3 % hidrat de hidrazină (figura 6).

Combustibilul folosit este întotdeauna sub formă de hidrat de hidrazină ($N_2H_4.H_2O$) cu un conţinut de 64% hidrazină, şi nu este mai periculos de manipulat decît amoniacul concentrat sau petrolul.

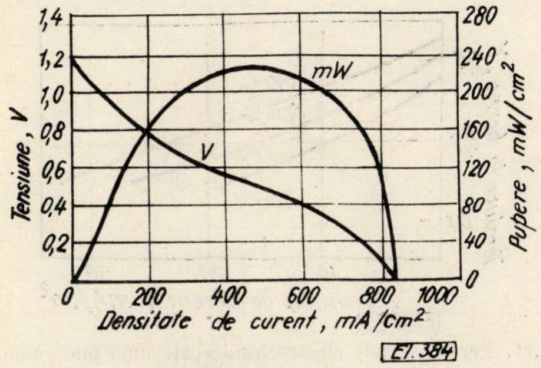


Fig. 6. Performanţele unei pile cu hidrazină cu electrolit hidroxid de potasiu 25 %.

Forţa electromotoare a unei pile hidrazină — oxigen la temperatura de 25°C este de 1,59 V, şi are o valoare reală de 1,16 V, comparabilă cu tensiunea de 1,23 V prezentată de o pilă hidrogen-oxigen. Se poate trage concluzia că, la temperatura obişnuită, hidrazina lucrează mai curînd ca o sursă de hidrogen, decît ca un compus reactiv din punctul de vedere electrochimic. În prezent, datorită preţului de cost ridicat al combustibilului, pila cu hidrazină nu este utilizată pe scară industrială, fapt care se va realiza, în cazul obţinerii ieftine a hidrazinei, prin oxidarea parţială a amoniacului.

3. Pile cu mono- şi polialcooli

O altă sursă posibilă de hidrogen pentru pilele cu combustibil o constituie mono- sau polialcoolii, dintre care se distinge prin bunele performanţe obţinute, etilenglicolul.

Oxidarea etilenglicolului în mediu alcalin are loc după următoarea reacţie :

$$(CH_2OH)_2 + 10\,OH^- \rightarrow 8\,H_2O + C_2O_4^{2-} + 8e^-.$$

A fost construită o pilă cu etilenglicol [26] folosind un anod de tip DSK, din nichel, şi un catod de argint, a cărei schemă principială de funcţionare este prezentată în figura 7; caracteristicile de polarizare sînt prezentate în figura 8. Această pilă cu combustibil a furnizat o densitate de curent de pînă la 500 mA/cm², folosind drept electrolit o soluţie concentrată de hidroxid de potasiu cu un conţinut de 15% etilenglicol.

A fost studiată posibilitatea de utilizare drept combustibil în pile a mono- şi polialcoolilor pe catalizatori de platină şi paladiu [27] şi s-au trasat curbele de polarizare pentru reacţia de oxidare a acestora, în scopul determinării influenţei asupra performanţelor electrochimice a numărului de atomi de carbon (figura 9) şi a numărului de grupări oxidrilice din moleculă (figura 10).

Examinarea curbelor prezentate în figurile 9 şi 10 permite să se tragă concluzia că, gradul

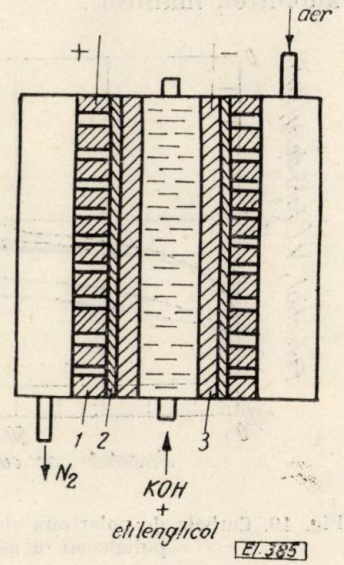


Fig. 7. Schema principială de funcţionare a unei pile cu etilenglicol.
1—catod; *2*—separator; *3*—anod

de polarizare creşte cu numărul atomilor de carbon şi al grupărilor oxidrilice din moleculă şi în ordinea izo — secundar — terţiar. Pe de

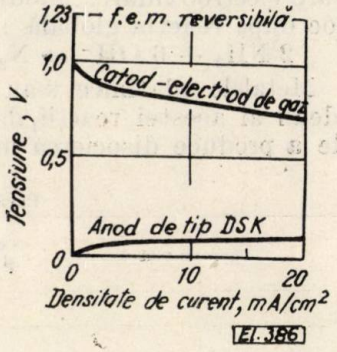


Fig. 8. Performanţele unei pile cu etilenglicol cu electrolit alcalin.

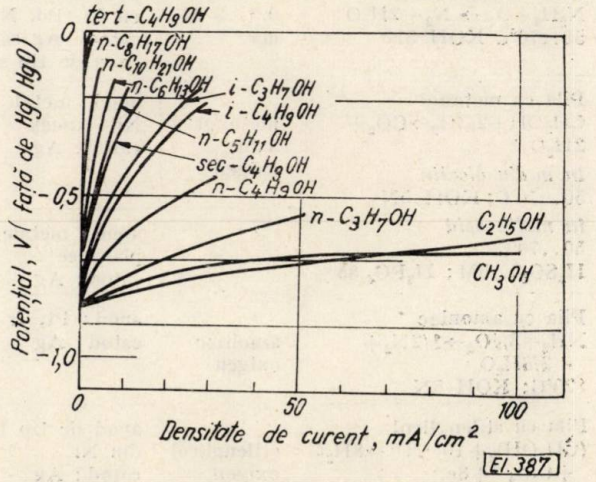


Fig. 9. Curbele de polarizare ale reacţiei de oxidare a unor monoalcooli în mediu acid.

altă parte, se poate remarca, că prezența în moleculă a unui număr mare de grupări oxidrilice permite oxidarea alcoolilor cu performanțe relativ bune, cu condiția ca în moleculă să fie prezent un număr aproximativ egal de atomi de carbon (metanol, etilenglicol, glicerol, eritritol, adonitrol, manitol).

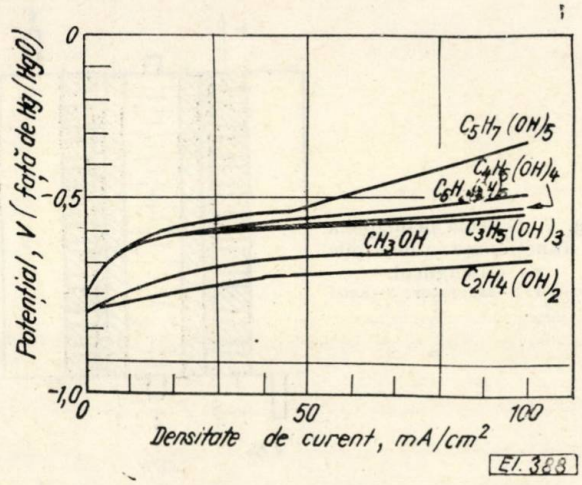


Fig. 10. Curbele de polarizare ale reacției de oxidare a unor polialcooli în mediu acid.

4. Pila cu amoniac

Au fost realizate surse chimice de curent, care folosesc drept combustibil amoniacul în mediu de hidroxid de potasiu [28], [29], în care electrooxidarea anodică a amoniacului are loc după reacția globală :

$$2\,NH_3 + 6\,OH^- \rightarrow N_2 + 6\,H_2O + 6\,e^-$$

Metalele platinice s-au dovedit catalizatori ideali ai acestei reacții, datorită capacității lor de a produce disocierea moleculei de amoniac.

În figura 11 sînt prezentate performanțele realizate de o pilă amoniac — oxigen cu catalizatori de platină la diferite temperaturi.

Cu toate că amoniacul este o sursă ideală de hidrogen (pila cu amoniac prezentînd performanțe superioare tuturor pilelor cu combustibil

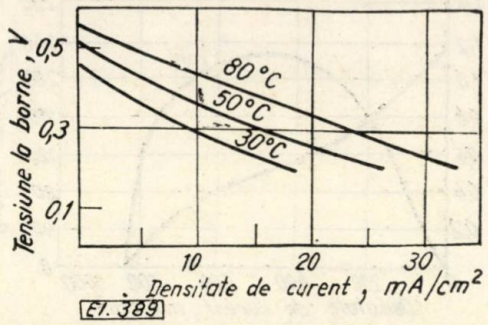


Fig. 11. Performanțele electrochimice ale unei pile amoniac-oxigen.

cu excepția pilelor alimentate cu hidrogen și hidrazină), utilizarea acestuia drept combustibil are dezavantajul nitrurării electrozilor metalici ; în timpul funcționării pilei, suprafața activă a electrozilor se acoperă cu pelicule de nitruri metalice, ceeace provoacă o creștere considerabilă a polarizării sursei chimice de curent. Acest inconvenient al pilelor cu amoniac a determinat părăsirea acestei surse ieftine de hidrogen.

Pentru a oferi o imagine de ansamblu asupra diferitelor tipuri de pile cu combustibil lichid, realizate pînă în prezent și pentru a permite compararea caracteristicilor acestor pile și a performanțelor lor, prezentăm în tabela 1 principalele tipuri de pile cu combustibil lichid.

Tabela 1

Caracteristicile principalelor tipuri de pile cu combustibil lichid

Tipul de pilă	Combustibil și oxidant	Electrozi	Date termodinamice			Performanțe			Randament real
			ΔH	ΔG	randament	E	V	i	
			j. mol^{-1}	j. mol^{-1}	—	V	V	mA/cm²	—
Pila cu hidrazină $N_2H_4+O_2 \rightarrow N_2+2H_2O$ 55..70°C KOH 5N	hidrazină 0,5..3 M aer	anod : Ni activat cu Pt, Pd, Ni_2B catod : Ag sau oxizi de tip spineli	−795980	−864020	1,13	1,59	0,8	200...500	0,7
Pila cu metanol $CH_3OH+2/3O_2 \rightarrow CO_2+2H_2O$ *în mediu alcalin* 50..70°C; KOH 5N	metanol 3 M oxigen	anod : metale platinice, Ni Raney catod : Ag	−726260	−703700	0,97	1,33	0,6	100	0,6..0,7
în mediu acid 50..70°C H_2SO_4 3..5M ; H_3PO_4 85 %		anod : metale planitice catod : Ag				1,21	0,5	75	0,6
Pila cu amoniac $NH_3+3/4O_2 \rightarrow 1/2N_2+2/3H_2O$ 120°C; KOH 5N	amoniac oxigen	anod : Pt, Ir—Pt, Ni catod : Ag	−382510	−339120	0,89	1,23	0,6	100	0,7
Pila cu etilenglicol $(CH_2OH)_2+10OH^- \rightarrow 8H_2O+C_2O_4^{-2}+8e^-$ 50..70°C; KOH 5N	etilenglicol oxigen	anod de tip DSK din Ni catod : Ag			0,98	1,14	0,7	200	0,7

5. Concluzii

— În pilele cu combustibil lichid se pot utiliza cu o bună eficienţă drept combustibil, în ordinea reactivităţii : hidrazina, metanolul, mono- şi polialcoolii, amoniacul.

— Electrooxidarea metanolului se poate efectua, fie în mediu alcalin pe electrozi de nichel, fie în mediu acid pe electrozi activaţi cu metale platinice. Performanţele obţinute au fost de aproximativ 100 mA/cm² la o tensiune la borne de 0,6 V şi, respectiv, de 75 mA/cm² la o tensiune de 0,5 V.

— Hidrazina s-a dovedit o sursă excelentă de hidrogen (pilele cu hidrazină au furnizat densităţi de curent pînă la 500 mA/cm² şi o forţă electromotoare efectivă de 1,16 V), însă preţul de cost actualmente ridicat al hidrazinei limitează folosirea acesteia drept combustibil în sursele chimice de curent.

— S-a demonstrat posibilitatea utilizării drept combustibili a mono- şi polialcoolilor, eficienţe deosebite (pînă la 200 mA/cm² la o tensiune la borne de 0,7 V) prezentînd alcoolii care conţin în moleculă un număr egal de grupări oxidrilice şi de atomi de carbon.

— Cu toate că amoniacul este o sursă deosebit de comodă de hidrogen, utilizarea sa drept combustibil în sursele chimice de curent este împiedicată de fenomenele de nitrurare a electrocatalizatorilor care apar în timpul funcţionării pilei şi care provoacă apariţia unor polarizări însemnate.

Bibliografie

[1] *Mavrodin-Tărăbic, M., Onaca, I., Solacolu, I.* Pilele cu combustibil lichid — surse chimice de curent cu eficienţă superioară. I. Caracteristicile optime ale combustibililor, oxidanţilor şi electroliţilor. În : Electrotehnica, **20**, nr. 11, 1972, p. 430—433.

[2] *Vasilescu-Karpen, N.* Sur l'utilization de l'énergie d'oxydation de l'alcool dans une pile électrique. În : Volumul comemorativ al celui de al XX-lea Congres de Electrotehnică, Praga, 1938.

[3] *Marinescu, M. Doboş, S., Minea., I.* Procese de reducere catalitică a oxigenului în pile de combustie pe suport de cărbuni special trataţi. În : Studii şi Cercetări de Energetică şi Electrotehnică **19**, nr. 2, 1969, p. 427—445

[4] *Marinescu, M., Doboş, S.* Pila de combustie cu hidrazină. În : Studii şi Cercetări de Energetică şi Electrotehnică. **20**, nr. 4, 1970, p. 887—899.

[5] *Marinescu, M.* On the p.d. between two imiscible media. In: 4 th International Symposium on Fuel Cells, Anvers, 1972.

[6] *Marinescu, M., Ştefan, F., Doboş, S.* Comptes Rendus des Troisième Journées d'Etudes des Piles à Combustible, Presses Académiques, Bruxelles, 1969, p. 66.

[7] *Binder, H., Köhling, A., Sandstede, G.* „Hydrocarbon Fuel Cell Technology", ed. Backer, B.S., Academic Press, New York, 1965, p. 91.

[8] *Breiter, M. W.* Comparative Voltametric Study of Methanol Oxydation and Adsorption on Noble Metal Electrodes. In : Electrochimica Acta **8**, nr. 8, 1963, p. 973—983.

[9] *Vielstich, W.* „Brennstoffelemente", Verlag Chemie Weinheim, 1965, secţiunea III.

[10] *Justi, F., Winsel, A.* Raney Type Transition Metals as Fuel Electrode Catalysts. În : Journal of the Electrochemical Society **109**, nr. 3, 1962, p. 553—557.

[11] *Justi, F., Winsel, A.* „Kalteverbrennung", Steiner Verlag, Wiesbaden, 1962.

[12] *Dousek, J. P., Jausta, I. Riha, J.* Katalysatoren für die Elektroden von Brennstoffelementen. In : Collection of the Czechoslovak Chemical Communications, **31**, nr. 3, 1966, p. 457—462.

[13] *Breiter, M. W.* Reactions of Simple Carbonaceous Fuels at a Platinized Platinum Electrode Partially Covered by Pre-adsorbed Copper Atoms. In : Electroanalytical Chemistry **23**, nr. 1, 1969, p. 173—179.

[14] *Cairns, F. J., Bartosik, D.C.* A Methanol Fuel Cell with an Invariant Alkaline Electrolyte. In : Journal of the Electrochemical Society, **111**, nr. 8, 1964, p. 1205—1215.

[15] *Karp, S., Meites, L.* The Voltametric Characteristics and Mechanism of Electrooxidation of Hydrazine. In : Journal of the American Chemical Society, **84**, nr. 6, 1962, p. 906—912.

[16] *Conway, B. F., Marinic, M., Gilroy, D., Rudd, E.* Oxide Involvement in Some Anodic Oxidation Reactions. In : Journal of the Electrochemical Society, **113**, nr. 11, 1966, p. 1144—1158.

[17] *Daniel-Bek, V. S.* Ob ossobennostiyah electrokisleniya ghidrazina v şciolocinoi srede na ugolinîh platinovanîh electrodah. In : Electrohimya **3**, nr. 1, 1967, p. 8—10.

[18] *Glasatova, T. N.* O mehanizme electrokisleniya ionov ghidrazoniya v şciolocinoi srede. In : Electrohimya **3**, nr. 2, 1967, p. 396—397.

[19] *Vitskaya, G. V.* K voprosu o mehanizme electrookisleniya ghidrazina v şciolocinoi srede. In : Electrohimya **3**, nr. 8, 1967, p. 973—976.

[20] *Korovin, N. V., Yanciuk, B. N.* Sorbţiya vodoroda pri okisleniya ghidrazina na paladii. In : Electrohimya **4**, nr. 7, 1968, p. 887—888

[21] *Yanciuk, B. N. Korovin N. V.* Electrookislenyia ghidrazina na palladievoi membrane. In : Electrohimya **5**, nr. 10, 1969, p. 1150—1152.

[22] *Yanciuk, B. N., Korovin, N. V.* Electrookisleniya ghidrazina na palladievoi membrane. II. Vliyanie konţentraţiya ghidrazina. In : Electrohimya **6**, nr. 8, 1970, p. 1117—1118.

[23] *Korovin, N. V., Yanciuk, B. N.* Vliyanie adsorbţiya kisloroda na electrookisleniyu ghidrazinu. In : Electrohimya **6**, nr. 10, 1970. p. 1526—1529.

[24] *Yanciuk, B. N. Korovin, N. V.* Electrookisleniya ghidrazina na palladievoi membrane. IV. Pottenţial diffuzionîi storoni. In : Electrohimya **6**, nr. 9, 1970, p. 1364—1366.

[25] *Jasinsky, R.* Catalysts for Hydrazine Fuel Cell Anodes. In : Electrochemical Technology **3**, nr. 2, 1965, p. 129—132.

[26] *Justi, F., Winsel, A.* The DSK System of Fuel Cell Electrodes. In : Journal of the Electrochemical Society **108**, nr. 9, 1961, p. 1073—1078.

[27] *Yamano, M., Ikeda, H.* „Hydrocarbon Fuel Cell Technology", ed. Backer, B.S., Academic Press, New York, 1965, p. 173.

[28] *Katan, T., Galiotto, R. J.* Current Efficiencies for the Anodic Oxidation of Ammonia in Potassium Hydroxide Solution. In : Journal of the Electrochemical Society **110**, nr. 10, 1963, p. 1022—1023.

[29] *Oswin, H. G., Salomon, M.* The Anodic Oxidation of Ammonia at Platinum Black Electrodes in Aqueous KOH Electrolyte. In : Canadian Journal of Chemistry **41**, nr. 7, 1963, p. 1686—1694.

Intrat în redacţie la 6. I. 1973

Megohmmetru tranzistorizat de 5000 V, realizat în țară

MIHAI ANTONIU*—Iași

CZ 621.317.735.(498)

Utilizarea tensiunii de 5000 V la megohmmetre își are justificarea în aceea că rezistența de izolație oferă informații utile numai dacă este măsurată la o tensiune egală sau apropiată de tensiunea nominală a agregatului respectiv, iar numărul agregatelor (transformatoare, alternatoare, locomotive electrice), care utilizează astfel de tensiuni a crescut mult în ultimul timp. Această creștere a determinat o cerere sporită de megohmmetre de 5000 V și ca urmare, principalele fabrici de profil : Evershed and Vignoles (Anglia), Metrawatt (R.F.G.), Chauvin Arnaux (Franța), Norma (Austria), Metra (R.S. C.), produc în mod curent și astfel de megohmmetre.

În țară la noi se fabrică numai megohmmetre de 500/1000 V și 2500 V [1], iar cele de 5000 V se importă. De aceea, apare oportună examinarea unor probleme legate de construcția megohmmetrului de 5000 V, cu atît mai mult cu cît nici în literatura română și nici în cea străină nu există studii referitoare la un asemenea megohmmetru, decît doar unele referiri extrem de sumare [2], [3], [4], [5], iar în țara noastră s-a acumulat o oarecare experiență în direcția construirii aparatelor de măsură tranzistorizate, care ar putea fi valorificată și la construcția unui astfel de megohmmetru, spre a putea elimina necesitatea importării acestuia.

La construcția unui megohmmetru tranzistorizat apar probleme legate atît de blocul de alimentare cu tensiune înaltă cît și de blocul de măsură, iar lucrarea de față își propune tocmai să caute o schemă cît mai acceptabilă, sub ambele aspecte, pentru prototipul viitorului megohmmetru românesc de 5000 V, ținînd seama de posibilitățile existente în țară la ora actuală.

Posibilități existente în țară pentru realizarea aparatului

Schema de principiu a megohmmetrului care face obiectul lucrării de față este arătată în figura 1, unde B reprezintă sursa primară de energie (baterie), K_1 — un buton de pornire normal deschis, C_V — un convertor care transformă tensiunea joasă U_B în tensiunea înaltă continuă U, necesară alimentării circuitului de măsură C_m, R_x — rezistența de măsurat, iar U_R — tensiunea la bornele acesteia.

Megohmmetrul fiind un aparat de teren, este necesar să aibă alimentare autonomă, adică sursa B să fie acumulator sau baterie (pilă uscată). Deși energia furnizată de baterii este sensibil mai scumpă decît cea furnizată de acumulatoare [6], acestea sînt mai adecvate megohmmetrelor decît acumulatoarele [7] și de aceea în cazul de față se adoptă baterie. Dintre bateriile produse în țara noastră [8], cele plate de

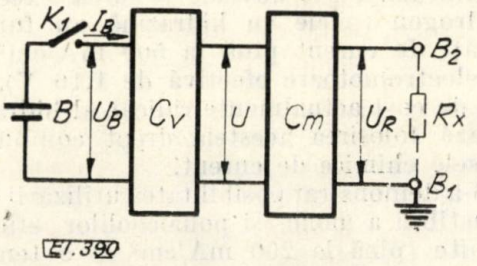


Fig. 1. Schema de principiu a unui megohmmetru tranzistorizat :

K_1 — buton de pornire normal deschis ; C_V — convertor de tensiune ; C_m — circuit de măsură ; R_x — rezistența de măsurat ; celelalte notații din text.

4,5 V (3 R 12) și cele rotunde de 1,5 V (R 20) în execuție „Leakproof" sînt mai potrivite scopului urmărit.

Convertorul C_V este alcătuit dintr-un invertor cu tranzistoare, un transformator ridicător și un redresor multiplicator de tensiune ; toate componentele necesare acestuia (rezistoare, condensatoare, tranzistoare, diode semiconductoare de înaltă tensiune, etc) se produc în țară, în sortimente și calități satisfăcătoare.

Partea principală a circuitului de măsură, C_m, o constituie un mecanism de măsurat, care poate fi logometric (magnetoelectric, electrostatic) sau nelogometric (microampermetru magnetoelectric, voltmetru electrostatic), în ultimul caz fiind necesar a se intercala între B și C_V sau între C_V și C_m un stabilizator de tensiune. Dintre mecanismele enumerate numai logometrul magnetoelectric se poduce în țară (IRME—Sibiu) dar și acesta la parametri de calitate inferiori (gabarit mare, sensibilitate scăzută la curenți mici, consum mare de energie). Deși microampermetre ca atare nu se produc în țară, totuși lipsa acestora poate fi suplinită prin utilizarea mecanismului milivoltmetrului MI—144 [9] produs de către „Electromagnetica" București, pentru pirometrie ; acest mecanism satisface în întregime cerințele impuse megohmmetrelor și are buni parametri de calitate (gabarit redus, inducție mare în întrefier : 0,25 T, față de numai 0,08 T la logometrul IRME). Voltmetre și logometre electrostatice nu se produc în țară — cu toate că preocupări legate de perfecționarea acestora există [10], [11] și în ciuda faptului că însușirile de bază ale acestora : posibilitatea de a lucra

*) Dr. ing. *M. Antoniu* este conferențiar la Institutul politehnic — Iași.

la tensiuni ridicate şi consum practic nul la tensiuni continui, pot fi valorificate din plin în cazul megohmmetrelor — şi de aceea ele nu vor fi luate în discuţie în lucrarea de faţă.

Parametri de calitate şi cerinţe impuse aparatului

Pentru aprecierea calităţilor megohmmetrului, se vor utiliza parametrii :

$$d = \frac{R_{xs}}{R_0} \tag{1}$$

$$D = \frac{R_{xs}}{R_{xi}} \tag{2}$$

$$\gamma = \gamma_c + \gamma_m \tag{3}$$

unde R_{xs}, limita superioară de măsură, reprezintă valoarea rezistenţei R_x înscrisă pe scara gradată a aparatului la distanţa de 0,02 α_n faţă de reperul ∞ (fig. 2), R_{xi} (limita inferioară de măsură) — valoarea lui R_x înscrisă la distanţa 0,02 α faţă de reperul zero [12], α_n — unghiul total al scării gradate, R_0 — rezistenţa interioară văzută de pe bornele B_1 şi B_2 (fig. 1); γ — eroarea fundamentală a megohmmetrului (care determină clasa de precizie a acestuia), γ_m — eroarea proprie a mecanismului de măsură, iar γ_c — eroarea introdusă de către C_m în indicaţia megohmmetrului. Cu cît D este mai mare cu atît aparatul este mai bun, deoarece are limite de măsură mai largi. De asemenea, o valoare mare pentru d este avantajoasă, deoarece permite a se măsura rezistenţe R_x mari la valori mici ale lui R_0, ceea ce contribuie la o mai bună repartiţie a tensiunii pe obiectul de încercat (U_R). Evident, cu cît γ este mai mic cu atît aparatul este mai bun.

În afară de buni parametri de calitate, un megohmmetru modern trebuie să îndeplinească

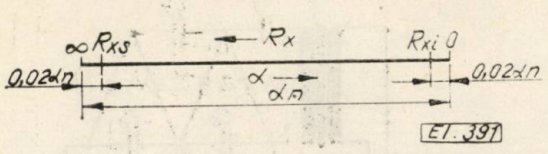


Fig. 2. Definirea limitelor de măsură la un megohmmetru : R_{xi}, R_{xs} — limita de măsură inferioară şi respectiv superioară ; R_0 — rezistenţa circuitului de măsură ; α_n — unghiul total al scării gradate.

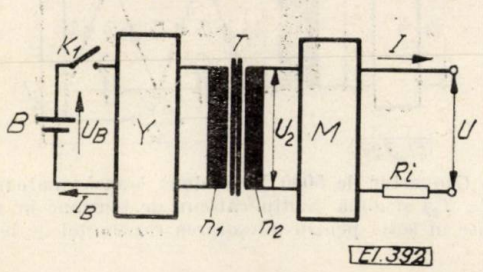


Fig. 3. Schema de principiu a convertorului :

Y — invertor în contratimp ; T — transformator ridicător ; M — multiplicator de tensiune ; R — rezistenţa de ieşire a multiplicatorului, iar celelalte notaţii — în text.

şi următoarele cerinţe : a) să permită măsurarea rezistenţei de izolaţie în condiţiile cerute de standardele în vigoare ; b) să nu prezinte pericol de electrocutare pentru operator ; c) să aibă consum de energie de la sursa B cît mai redus ; d) să permită controlul absenţei tensiunii pe obiectul de încercat ; e) să aibă R_{xs} cît mai mare, deoarece în ultimul timp izolaţia pe bază de răşini sintetice a pătruns masiv şi în tehnica curenţilor tari ; f) să dispună de mai multe trepte de tensiune (U) în circuitul de măsură, deoarece agregatele moderne (locomotive electrice, turboalternatoare) conţin părţi ce funcţionează cu tensiuni nominale diferite ; g) să permită verificarea continuităţii circuitelor ; h) să fie uşor manevrabil, să intre rapid în funcţiune şi să aibă constanta de timp mică, spre a asigura o viteză de intervenţie sporită ; i) să aibă volum redus şi greutate mică.

Blocul de alimentare cu tensiune înaltă

Dintre schemele de convertoare de mică putere utilizate în practică [13], [14], se adoptă tipul cu invertor Y în contratimp, alimentat la 9 V, şi transformator ridicător T avînd la ieşire un multiplicator de tensiune (M) aşa cum se arată în figura 3. Funcţionarea acestui convertor este descrisă de relaţiile :

$$U = nU_2 - IR_i \tag{4}$$

$$U_2 \approx mU_B \tag{5}$$

$$R_i \approx \frac{4n^3 + 6n^2 + 2n}{6fC} \tag{6}$$

$$P_2' = 2\pi f C_2' U_2^2, \tag{7}$$

în care f reprezintă frecvenţa de lucru a invertorului, m — raportul de transformare al transformatorului ($m \approx n_2/n_1$), n_1 şi n_2 — numărul de spire din primarul şi respectiv secundarul acestuia, n. R_i şi C — numărul de trepte, rezistenţa de ieşire şi respectiv capacitatea pe o ramură a unei trepte a multiplicatorului (fig. 4), iar P_2' — puterea pierdută datorită capacităţii parazite C_2', existentă în secundarul transformatorului (13).

Pentru transformatorul T se adoptă tolă indigenă de tipul laminat la cald (singurul sortiment ce se produce în prezent în ţară), format E-6,4 [15], cu grosimea de 0,33 mm, pentru care experienţa indică o frecvenţă optimă de lucru [16] de 400—500 Hz.

După alegerea tipului de convertor şi a frecvenţei f, rămîne de căutat varianta optimă a schemei electrice a acestuia deoarece, după cum rezultă din relaţiile (4)—(7), cerinţele faţă de multiplicatorul de tensiune sînt contradictorii : pe de o parte numărul de trepte (n) la acesta trebuie să fie cît mai mare, pentru a micşora pierderile P_2' (de fapt, aceasta este şi raţiunea introducerii multiplicatorului de ten-

siune la convertoare), iar pe de alta, n trebuie să fie cît mai mic pentru a micşora rezistenţa de ieşire R_i, ceea ce permite micşorarea căderii de tensiune IR_i din multiplicator, cum şi micşorarea constantei de timp :

$$\tau = (R_0 + R_i)\, C_R, \qquad (R_0 < R_i) \qquad (8)$$

a megohmmetrului (cerinţa h), aşa după cum rezultă din relaţia:

$$U_R = U\left(1 - e^{\frac{t}{\tau}}\right) \qquad (9)$$

unde U_R este tensiunea la bornele rezistenţei R_x, C_R — capacitatea acesteia, t — timpul marcat din momentul conectării lui R_x la bornele B_1 şi B_2 (fig. 1), iar R_0 are semnificaţia din (1). Relaţia (9) arată că U_R atinge valoarea (2/3)U de-abia după timpul $t = \tau$, care poate fi destul de mare în cazul cînd obiectul de încercat are capacitate importantă (cabluri, condensatoare de forţă); de exemplu, pentru $R_0 = 10$ MΩ $R_i = 20$ MΩ (valori întîlnite în practică) şi $C_x = 2\mu$F, rezultă $\tau = 60$ s, ceea ce arată că în acest caz valoarea corectă a rezistenţei R_x pe scara megohmmetrului va putea fi citită de-abia după $t = 2$ min (cînd $U_R \approx 0{,}9\ U$) — timp inadmisibil de lung, ţinînd seama că instalaţiile electroenergetice moderne cer o mare viteză de intervenţie în caz de avarii.

Neglijînd termenul IR_i din (4) şi asociind această relaţie cu (5) se ajunge la rezultatul :

$$mn \approx \frac{U}{U_B} = \frac{5000}{8{,}25} = 600 \qquad (10)$$

unde pentru U_B s-a luat media între valoarea cînd bateriile sînt noi (9 V) şi cea pentru care acestea ajung la limita de epuizare (7,5 V). Cum n prin însăşi construcţia multiplicatorului este un număr par şi cum soluţia $n = 2$ este exclusă, din cauză că U cerut este mare, rezultă că $n \geqslant 4$. Pe de altă parte fiindcă R_i creşte rapid cu n, se adoptă limita $n \leqslant 8$. În urma acestor îngrădiri rămîn doar trei variante

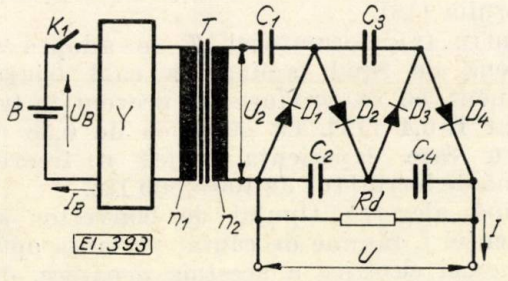


Fig. 4. Convertor pentru $U = 5000$ V ($U_B \approx 9$ V), la care multiplicatorul de tensiune are 4 trepte; notaţiile în text.

pentru convertorul propus (fig. 3) : $n = 4$; 6 şi 8 ($m = 150$, 100 şi respectiv 75), ale căror scheme sînt reprezentate în figurile 4 şi 5 şi respectiv figura 6, unde R_d este o rezistenţă necesară descărcării condensatoarelor $C_1 - C_8$ ($C_1 = C_2 \ldots = C_8 = C$) multiplicatorului de tensiune la terminarea operaţiei de măsurare spre a proteja operatorul împotriva electrocutări,

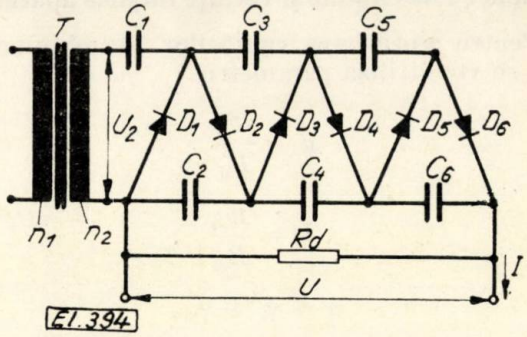


Fig. 5. Convertor pentru 5000 V cu multiplicatorul de tensiune în 6 trepte.

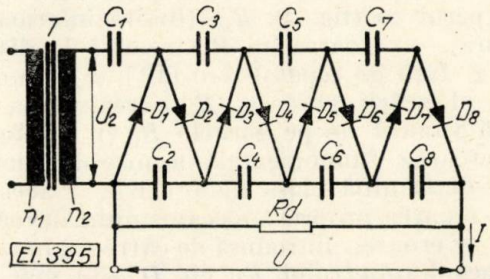


Fig. 6. Convertor de 5000 V cu multiplicator de tensiune în 8 trepte.

(cerinţa b), $D_1 - D_8$ sînt diode redresoare pentru tensiunea ridicată, I — curentul debitat de convertor; C are semnificaţia din (6), iar celelalte notaţii ca în figura 3.

Schema din figura 6 mai poate fi modificată ca în figura 7, variantă ce permite o reducere

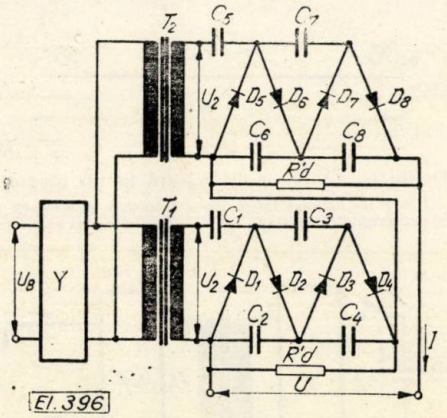


Fig. 7. Convertor de 5000 V cu două transformatoare identice (T_1, T_2) şi două multiplicatoare de tensiune în 4 trepte legate în serie pentru micşorarea rezistenţei de ieşire.

importantă a rezistenţei de ieşire (R_i), aşa după cum rezultă din analiza relaţiei (6). Într-o primă aproximaţie aceasta se poate

transcrie în forma $R_i \approx$ prop. n^3 de unde, notînd cu R_{i6} și R_{i7} pe R_i corespunzător schemei din figura 6 și respectiv figura 7, se ajunge la relațiile :

$$R_{i6} \approx \text{prop} \cdot n^3, \quad R_{i7} \approx \text{prop} \cdot 2\left(\frac{n}{2}\right)^3$$

din a căror împărțire se obține rezultatul

$$\frac{R_{i7}}{R_{i6}} \approx \frac{1}{4},$$

care arată că la schema din figura 7 rezistența de ieșire este de patru ori mai mică decît la cea din figura 6. Experimental însă, se constată că avantajul obținut este mai mic ($R_{i7} \approx 0{,}5\ R_{i6}$) decît cel arătat de această relație, din cauza aproximației largi care stă la baza relației (4) [17]. De asemenea, trebuie de observat că în figura 7 sînt necesare două transformatoare, dintre care unul (T_2) cu izolația față de miez mult întărită.

Aceste scheme au fost experimentate în condiții aproximativ identice și anume : $U_B = 8{,}25$ V = const., același tip de invertor — identic cu cel descris în [18], aceeași secțiune a miezului (2 cm²) și același număr de spire în secundarul transformatorului ($n_2 = 5000$ sp.), același gen de diode redresoare $D_1 - D_8$ (alcătuite fiecare prin înscrierea de diode F 407 — IPRS : cîte 4 în figura 4, 3 — în figura 5 și 2 — în figurile 6 și 7) și aceleași valori pentru C ($\approx 0{,}01\mu$F) și R_d (370 MΩ; în figura 7, $R'_d = 130$ MΩ). Rezultatele încercărilor sînt concretizate în curbele din figura 8, unde cu 4, 5, 6 și 7 s-au notat curbele parametrilor corespunzători schemelor din figurile 4, 5 și 6 și respectiv figura 7. Aceste curbe arată că schemele

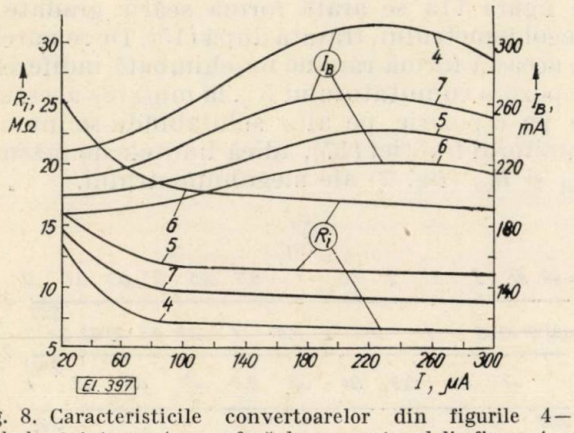


Fig. 8. Caracteristicile convertoarelor din figurile 4—7; curbele notate cu 4 se referă la convertorul din figura 4, cele notate cu 5 — la cel din figura 5, etc. :

I_B — curentul absorbit, I — curentul debitat, R_i — rezistența de ieșire a multiplicatorului de tensiune.

din figura 5 (curbele *5*) și figura 7 (curbele *7*) sînt mai avantajoase ; dintre ele trebuie de preferat prima (fig. 5), deoarece este mai puțin costisitoare (un singur transformator) și mai adecvată pentru realizarea mai multor trepte de tensiune în circuitul de măsură.

Megohmmetru cu logometru magnetoelectric

Schema electrică a acestuia este dată în figura 9.

Se observă că bobina derivație b_2 a logometrului L este alimentată direct de la baterie

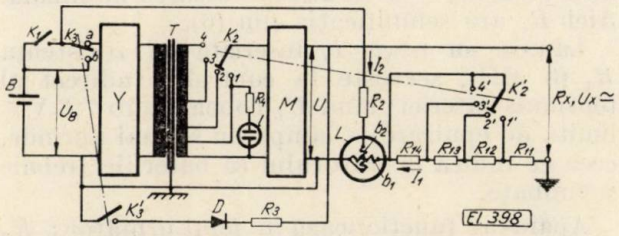


Fig. 9. Schema electrică a megohmmetrului logometric de 5000 V :

K_2 — comutator de trepte pentru tensiunea de lucru (poziția 1 — 500 V; 2 — 1000 V ; 3 — 2500 V ; 4 — 5000 V) ; K'_2 — comutator pentru adaptarea circuitului de măsură la treptele respective de tensiune ; L — logometru, M — multiplicator, K_3, K'_3 — comutatoare pentru adaptarea logometrului de măsurări de tensiune.

[19] și nu de la tensiunea înaltă U ca în schemele clasice, ceea ce prezintă următoarele avantaje importante :

— reducerea puterii disipate în circuitul acestei bobine de la UI_2 la $U_B I_2$, adică de mn ori ($mn = 60 \ldots 600$), ceea ce duce la o micșorare importantă a consumului de la baterie (cerința *c*) ;

— permite realizarea cu ușurință a mai multor trepte pentru tensiunea U (cerința *f*) ;

— permite adaptarea logometrului la verificarea lipsei de tensiune pe obiectul de încercat (cerința *d*), precum și la verificarea continuității circuitelor (cerința *g*).

Convertorul, alcătuit din invertorul Y, transformatorul T și multiplicatorul de tensiune M, este cel din figura 5, cu deosebirea că la înfășurarea secundară a transformatorului s-au prevăzut prizele *1*, *2*, *3* și *4*, comutabile prin comutatorul K_2, spre a permite realizarea treptelor de 500, 1000, 2500 și 5000 V pentru tensiunea U.

Rezistențele R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14} ($R_{12} \approx R_{11}$, $R_{13} \approx 3R_{11}$, $R_{14} \approx 5R_{11}$) servesc la limitarea curentului (I_1) din bobina serie (b_1) a logometrului la valoarea nominală (I_{1n}) în situația $R_x = 0$ și anume : cînd K_2 se află în poziția, 1 ($U =$ 500 V), comutatorul K'_2, solidar legat cu K_2, se află în poziția 1′ lăsînd în circuitul bobinei b_1 numai rezistența R_{11} și ca urmare, în serie cu această bobină apare rezistența $R_{01} = R_i + R_{11}$, ultima componentă fiind dimensionată astfel încît la $R_x = 0$, I_1 să atingă valoarea I_{1n} (corespunzătoare deviației $\alpha = \alpha_n$ pe fig. 10) mutînd pe K_2 în poziția 2 ($U = 1000$ V), K'_2 se schimbă în poziția *2′* lăsînd libere rezistențele R_{11} și R_{12}, ceea ce face ca în serie cu b_1 să apară rezistența $R_{02} = R_i + R_{11} + R_{12}$,

ultima componentă fiind ajustată spre a permite ca la $R_x = 0$, $I_1 = I_{1n}$; mutînd în continuare pe K_2 în 3 ($U = 2500$ V), K_3' trece în 3′ eliberînd pe R_{13}, ceea ce face ca în serie cu b_1 să apară rezistența $R_{03} = R_i + R_{11} + R_{12} + R_{13}$, ultima fiind ajustată spre a permite ca la $R_x = 0$, $I_1 = I_{1n}$, în fine, trecînd pe K_2 în 4 ($U = 5000$ V), K_2' se mută în 4′, lăsînd în serie cu b_1 rezistența $R_{04} = R_i + R_{11} + R_{12} = R_{13} + R_{14}$ ultima fiind de asemenea ajustată spre a permite ca la $R_x = 0$ să atingă valoarea nominală. Aici R_i are semnificația din (6).

Lampa cu neon *1*, înseriată cu rezistența R_4 (3 MΩ), servește la controlul indirect al tensiunii bateriei; cînd U_B coboară sub 7,5 V — limita de epuizare — lampa nu se mai aprinde, ceea ce indică operatorului că bateriile trebuie schimbate.

Aparatul funcționează în felul următor: K_2 fiind în poziția corespunzătoare treptei de tensiune U prescrisă de standarde pentru obiectul de încercat și K_3 în poziția *a*, se apasă pe butonul de pornire K_1, citindu-se valoarea rezistenței respective de izolație (R_x) pe scara gradată a aparatului; schimbînd pe K_3 în poziția *b* legătura cu invertorul se întrerupe, iar întrerupătorul K_3', solidar legat cu K_3, se închide, introducînd în circuitul bobinei b_1 redresorul D înseriat cu rezistența R_3, situație în care aparatul poate detecta prezența sau absența tensiunii (U_x) de obiectul de încercat. Această operație este obligatorie atît înainte cît și după măsurarea rezistenței R_x.

Funcționarea aparatului din figura 9 va fi cercetată pentru două variante ale logometrului L: cu ecuație de funcționare liniară și cu ecuație de funcționare logaritmică.

Utilizarea unui logometru liniar

Ecuația de funcționare a logometrului în acest caz este de forma:

$$\alpha = K\frac{I_1}{I_2} \tag{1}$$

unde α reprezintă deviația (fig. 10), I_1 și I_2 — curenții din bobinele acestuia, iar K — o constantă.

a) *Măsurarea rezistențelor* (R_x). Schema simplificată a aparatului din figura 9 pentru situația K_2 pe poziția 1 și K_3 pe poziția *a* este arătată în figura 10, unde notațiile au semnificația de mai înainte. În baza acestei scheme rezultă relațiile:

$$I_1 = \frac{U}{R_{11} + R_x} = \frac{mnU_B}{R_{11} + R_i + R_x}, (R_{b1} << R_{11}) \tag{12}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2 + R_{b2}}, \tag{13}$$

care asociate cu (11) conduc la ecuația de funcționare a megohmmetrului

$$\alpha = \frac{mnK(R_2 + R_{b2})}{R_{01} + R_x} \tag{14}$$

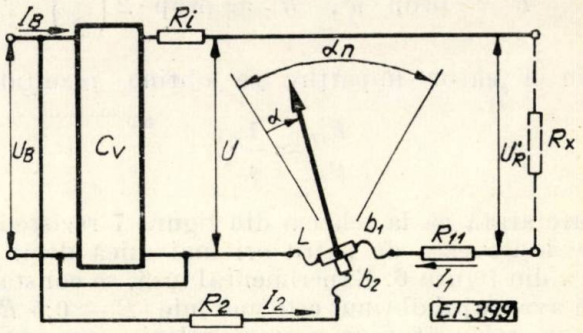


Fig. 10. Schema simplificată a circuitului de măsură al megohmmetrului din figura 9. Notațiile, ca în figura 1 și figura 9.

unde R_{b1} și R_{b2} reprezintă rezistența bobinei b_1 și respectiv b_2, iar $R_{01} = R_i + R_{11}$.

Pentru $\alpha = \alpha_n$ această ecuație devine

$$\alpha_n = \frac{mn(R_2 + R_{b2})}{R_{01}}$$

de unde prin împărțire, se obține ecuația de funcționare generalizată

$$\eta = \frac{1}{\mu + 1} \tag{15}$$

în care s-au introdus notațiile

$$\eta = \frac{\alpha}{\alpha_n} \tag{16}$$

$$\mu = \frac{R_x}{R_{01}} \tag{17}$$

În figura 11a se arată forma scării gradate a megohmmetrului, trasată după (15). De remarcat că această formă rămîne neschimbată indiferent de poziția comutatorului K_2, la mutarea acestuia de pe o poziție pe alta schimbîndu-se numai numitorul fracției (17), adică limitele de măsură R_{xi} și R_{xs} (fig. 2) ale megohmmetrului.

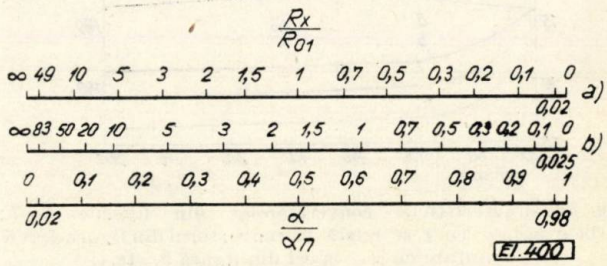


Fig. 11. Forma scării gradate a megohmmetrului logometric: *a* — logometrul are ecuația de funcționare liniară, iar *b* — logaritmică.

Un calcul simplu bazat pe relațiile (1), (2) și (15), conduce în cazul de față la parametrii $d = 49$ și $D \approx 2000$, ultimul fiind complet

satisfăcător însă primul, nu; la aceast neajuns mai trebuie adăugată și distribuția puțin convenabilă a diviziunilor pe scara gradată (fig. 11a) care este prea contractată în zona rezistențelor mari și prea dilatată în cea a rezistențelor mici. Ambele neajunsuri pot fi înlăturate complet prin utilizarea unui logometru cu ecuație de funcționare logaritmică.

În ceea ce privește eroarea fundamentală γ, definită de (3), trebuie de observat că în condițiile tehnologiei actuale (erori de frecare în lagăre, mici), eroarea proprie a mecanismului logometric poate fi evaluată la $\gamma_m \leqslant 0{,}5\,\%$ din lungimea scării gradate. Componenta γ_c, care reprezintă eroarea introdusă de către circuitul de măsură în indicația megohmmetrului, se deduce din ecuația de funcționare (14) din care rezultă :

$$\gamma_c = \frac{R_2}{R_2+R_{b2}}\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}+\frac{R_{b2}}{R_2}\cdot\frac{\Delta R_{b2}}{R_{b2}}\right)+$$

$$+\frac{R_i}{R_i+A_j}\left(\frac{\Delta R_i}{R_i}+\frac{A_j}{R_i}\cdot\frac{\Delta R_{11}}{R_{11}}\right)=\psi_1+\psi_2, \tag{18}$$

unde termenii $\Delta R_2/R_2$, $\Delta R_{b2}/R_{b2}$, $\Delta R_{11}/R_{11}$, $\Delta R_i/R_i$ includ atît instabilitatea în timp cît și variația cu temperatura a rezistențelor respective.

În privința termenului ψ_1 trebuie de observat că influența temperaturii este practic nulă, deoarece $\Delta R_2/R_2 = -0{,}1\,\%/°C$ [20], $\Delta R_{b2}/R_{b2} = +0{,}4\,\%/°C$ (cupru) și $R_{b2}/R_2 \approx 1/4$ ($R_2 = 34$ KΩ, $R_{b2} = 9$ KΩ), rămînînd de evaluat numai influența instabilității în timp a rezistenței R_2 (0,3 %); aceasta se cifrează la $\psi_1 \leqslant 0{,}25\,\%$.

Termenul ψ_2 conține pe $\Delta R_i/R_i$ care, conform cu (6), este $\Delta R_i/R_i = -\Delta C/C$ și pe A_j ($j = 1,2,3,4,$), cu semnificațiile : $A_1 = R_{11}$, $A_2 = R_{11}+R_{12}$, $A_3 = R_{11}+R_{12}+R_{13}$; $A_4 = R_{11}+\ldots+R_{14}$; cum C este cu peliculă de poliesteri, situație în care instabilitatea în timp este sub 0,3 % și coeficientul de temperatură sub 0,16 %/°C, iar R_{11} (carbon) are instabilitatea sub 0,5 % și coeficientul termic sub $-0{,}15\,\%/°C$ (R_{11}, R_{12}, etc. sînt de ordinul megohommilor), rezultă că $\Delta C/C \leqslant 0{,}3+2\times 0{,}16 = 0{,}62\,\%$ și $\Delta R_{11}/R_{11} = 0{,}5+2\times 0{,}15 = 0{,}8\,\%$ și ca urmare ($A_i/R_i < 1$), $\psi_2 \leqslant 0{,}7\,\%$. S-a considerat intervalul de temperatură pentru definirea clasei de precizie $\pm$ 2°C, deoarece indicele de clasă al aparatului în discuție este supraunitar [21].

Rezultă în final că $\gamma_c \leqslant 0{,}25 + 0{,}7 = 9{,}05\,\%$ și ca urmare, $\gamma \leqslant 0{,}5 + 0{,}95 = 1{,}45\,\%$ din lungimea scării gradate, ceea ce arată că megohmmetrul în discuție se încadrează în clasa de precizie 1,5 — suficient de bună.

b) *Detectarea tensiunii pe obiectul de încercat* (U_x).

In situația K_3 în poziția b (și K_2 în poziția 1) expresia curentului din bobina b_1 este

$$I_1 = \frac{U}{R_{11}+R_3},$$

de unde, ținînd seama de (11) și (13) se ajunge la ecuația de funcționare:

$$\alpha = \frac{K(R_2+R_{b2})U_x}{(R_{11}+R_3)U_B} = \text{prop. } U_x, \tag{19}$$

care arată că în acest caz aparatul poate fi utilizat la măsurarea tensiunilor continue pînă la 500 V; la schimbarea comutatorului K_2 succesiv în pozițiile 2, 3 și 4 (K_4 rămînînd tot în poziția b) se pot măsura tensiuni pînă la 1000, 2500 și respectiv 5000 V. Pentru măsurarea tensiunilor alternative este necesară, fie utilizarea unui circuit de corecție în derivație cu R_3 [7], spre a putea citi tensiunile tot pe scara definită de (19), fie trasarea unei scări separate.

După cum rezultă din (19), eroarea fundamentală a aparatului la măsurarea tensiunii este, mare : $\gamma = 10\,\%$ din lungimea scării gradate, din cauza instabilității mari a tensiunii U_B, care conform cu (10) poatea atinge valoarea $\Delta U_B/U_B = \pm 9\,\%$, contribuția celorlalți termeni ($\Delta R_2/R_2$ etc.), rămînînd sub 1 %. Totuși, precizia obținută este satisfăcătoare pentru scopul urmărit, iar schema de comutare a aparatului pentru măsurarea tensiunilor, este extrem de simplă (fig. 9). Dacă se alimentează bobina b_2 nu cu U_B, ci cu o tensiune stabilizată U_s (obținută pe o diodă Zenner, de exemplu), atunci $\Delta U_s/U_s \leqslant 1\,\%$ și ca urmare $\gamma \leqslant 2\,\%$ din lungimea scării gradate însă, schema de comutare este ceva mai complicată; o asemenea soluție a fost descrisă în [22].

Utilizarea unui logometru cu ecuația de funcționare logaritmică

O asemenea ecuație are forma :

$$e^{h\alpha} - 1 = \frac{I_1}{I_2} \tag{20}$$

și care în asociere cu (12) și (13) devine ($h\alpha_n \approx 1$) :

$$\frac{e^n-1}{e-1} = \frac{1}{\mu+1} \tag{21}$$

unde h este o constantă, iar ceilalți termeni au semnificația de mai înainte.

În figura 11b, s-a reprezentat forma scării gradate conform cu (21). Se observă că distribuția diviziunilor este mai convenabilă decît

în cazul utilizării logometrului liniar (fig. 11a); de asemenea, parametrul $d = 83$ este sensibil mai bun decît în cazul figurii 11b ($d = 49$), ceea ce permite o mai bună repartiție a tensiunii pe obiectul de încercat [18].

Ecuația de funcționare de forma (20), se obține fie pe calea deformării corespunzătoare a întrefierului — cum este cazul logometrului IRME — fie pe calea completării logometrului liniar cu un circuit de corecție, cu diode Zenner, cum este cazul descris în [23]. Dintre acestea, trebuie de preferat ultima soluție, deoarece permite realizarea unei inducții în întrefier de 2—3 ori mai mare, ceea ce permite ca limita superioară (R_{xs}) să fie corespunzător mai mare (cerința *e*).

Exemplu de realizare practică

În figura 12 se arată megohmmetrul construit pe baza schemei din figura 9. Logometrul acestuia este de tipul cu diode Zenner și a fost realizat utilizînd organul mobil de la logometrul IRME și circuitul magnetic de la milivoltmetrul MI-144P „Electromagnetica" [9]. Butonu,

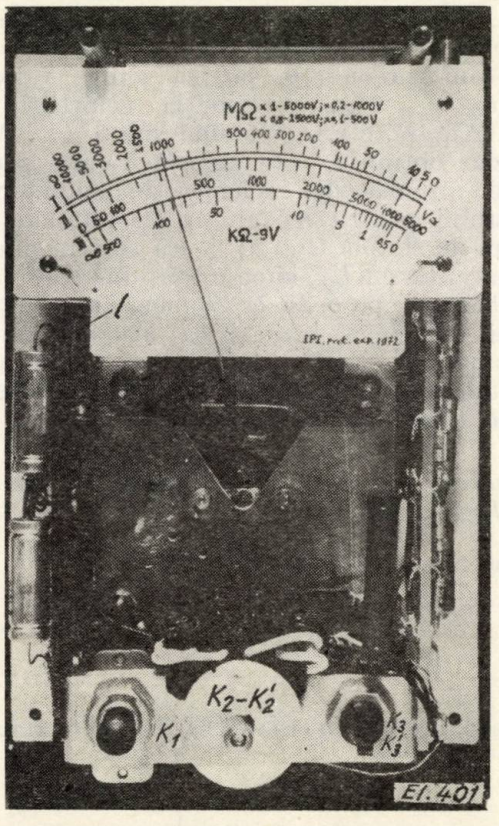


Fig. 12. Megohmmetru construit pe baza schemei din fig. 9; notațiile, ca în fig. 9 și fig. 1.

de pornire K_1 și comutatoarele K_2 și K_3 sînt de tipul celor utilizate în prezent la megohmmetrele IRME (ultimele au necesitat unele modificări de adaptare); carcasa aparatului, din polistiren industrial de fabricație indigenă, a fost metalizată în interior, în vederea ecranării mecanismului de măsură împotriva cîmpurilor electrice străine. De asemenea, însuși mecanismul a fost prevăzut cu un ecran electric *E*, împotriva cîmpurilor electrice vecine din convertor. Caracteristicile aparatului sînt următoarele :

La măsurarea rezistențelor mari : tensiuni de lucru —500, 1000, 2500 și 5000 V, selectabile prin comutatorul K_2; limite de măsură : 0—10.000 MΩ, dezvoltate în patru domenii (0—1000; 0—2000, 0—5000; 0—10000 MΩ, toate utilizînd aceeași scară gradată, scara *I*) corespunzătoare celor patru tensiuni de lucru; clasa de precizie —1,5%, raportată la lungimea scării gradate.

La măsurarea tensiunilor : limite —0—5000 V cu patru tensiuni nominale (500, 1000, 2500 și 5000 V), selectabile tot prin K_2 și utilizînd aceeași scară (*II*), atît pentru tensiunile continue cît și pentru cele alternative; clasa de precizie —10 (raportată la lungimea scării).

La măsurarea rezistențelor mici (scara *III*); tensiunea de lucru 9 V (U_B); limite: 0—500 KΩ/∞ clasa de precizie : 1,5. Acest regim de lucru este selectabil prin comutatorul K_2 (prima poziție) și prezintă importanță că permite și verificarea continuității circuitelor (cerința *g*); o asemenea soluție este descrisă în [24].

Lungimea scării gradate pentru R_x (scara *I*), 110 mm. Puterea medie solicitată de la baterie pentru treapta de 5000 V + 1,9 W; dimensiunile, 220×160×80 mm, iar greutatea 2,2 kgf.

Megohmmetru cu microampermetru și stabilizator de tensiune

Schema electrică a unui asemenea megohmmetru este arătată în figura 13, unde *S* reprezintă stabilizatorul, $U_s = 6 \pm 0{,}3$ V — tensiunea stabilizată, μA — microampermetrul, iar celelalte notații au semnificația din figura 9. La măsurarea rezistențelor, se apasă pe K_1 și se selectează tensiunea de lucru (500, 1000, 2500 sau

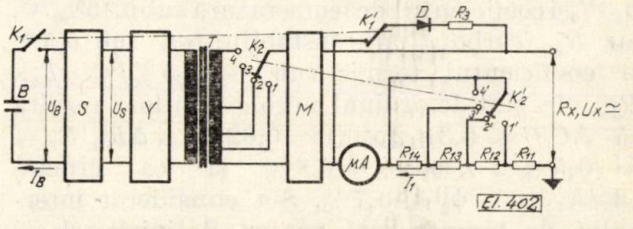


Fig. 13. Schema unui megohmmetru de 5000 V, cu microampermetru (μA) și stabilizator de tensiune (S); notațiile ca în fig. 9.

5000 V), cu ajutorul comutatorului K_2, întocmai ca la aparatul din figura 9. Pentru măsurarea tensiunilor (U_x) se lasă K_1 deschis, situație în care K_1', solidar legat cu K_1, se închide, introducînd redresorul *D* și rezistența R_3 în circuitul de măsură.

În cazul cînd microampermetrul are ecuaţia de funcţionare liniară, ecuaţia de funcţionare a megohmmetrului este

$$\alpha = \frac{\text{const} \cdot mnU_s}{R_{01} + R_x} \tag{22}$$

care poate fi transcrisă în forma

$$\eta = \frac{1}{\mu + 1} \tag{23}$$

identică cu (15).

Eroarea de tip γ_c, după cum rezultă din (22), este

$$\gamma_c = \frac{\Delta U_s}{U_s} + \psi_2 \leqslant \frac{\Delta U_s}{U_s} + 0{,}7\%$$

şi ca urmare ($\gamma_m \approx 0{,}4\%$), $\gamma \leqslant 1{,}1 + \Delta U_s/U_s$ (% din lungimea scării gradate), ceea ce arată că aparatul se poate încadra în clasa de precizie 1,5 numai dacă $\Delta U_s/U_s \leqslant \pm 0{,}4\%$, valoare nu întotdeauna uşor de realizat în cazul megohmmetrelor, din motive de ordin energetic şi al preţului de cost. În schimb, la măsurarea tensiunilor continue şi alternative, aparatul se poate încadra uşor în clasa 1,5 sau 2,5.

În cazul utilizării unui microampermetru cu ecuaţia de funcţionare logaritmică, ecuaţia de funcţionare generalizată a megohmmetrului este de forma (21), avînd aceleaşi avantaje în privinţa parametrilor d şi D.

La un asemenea megohmmetru construit în maniera descrisă în [18], s-a observat că puterea medie absorbită de la baterie, pentru treapta de 5000 V, este 2,8 W. Acest aparat are aceleaşi limite de măsură pentru R_x, U_x şi rezistenţe mici, aceleaşi clase de precizie (cu excepţia celei pentru U_x care este 2,5), aceleaşi dimensiuni şi aceeaşi greutate ca şi aparatul din figura 12.

Comparaţie între megohmmetru logometric şi cel cu microampermetru şi stabilizator de tensiune

Pentru simplificare, în cele ce urmează megohmmetrul cu logometru va fi notat cu M_L iar cel cu microampermetru şi stabilizator de tensiune cu M_μ.

Din discuţiile de mai înainte rezultă că M_L şi M_μ au aproximativ aceleaşi calităţi metrologice (forma scării gradate, limite de măsurare, clasă de precizie) şi acelaşi grad de utilizare (pot măsura rezistenţe de izolaţie la patru tensiuni de lucru, tensiuni continue şi alternative şi pot fi utilizate la măsurarea rezistenţelor mici precum şi la verificarea continuităţii circuitelor). Ele diferă însă în privinţa gradului de complexitate a schemelor şi în ceea ce priveşte consumul de la baterie.

Astfel, la M_μ schema blocului de alimentare este mai complicată decît la M_L, deoarece apare în plus stabilizatorul de tensiune care include cel puţin 4—6 tranzistoare (majoritatea de putere medie), ceea ce scumpeşte construcţia aparatului. De asemenea, cheltuielile de întreţinere M_μ sînt cu aproximativ 50% mai mari decît la M_L, din cauza consumului de la baterie care este de 1,5 ori mai mare (2,8 W faţă de 1,9 W). În schimb, la M_L blocul de măsură este ceva mai complicat decît la M_μ, mai ales în partea destinată măsurării tensiunilor, deoarece necesită un reper de tensiune (cu lampă cu neon sau cu diodă Zenner), precum şi un comutator necesar conectării bobinei derivaţiei a logometrului la acest reper. În plus, trebuie de adăugat, că logometrul este mai complicat şi ceva mai scump decît microampermetrul. De asemenea, acesta din urmă poate fi inclus, într-o schemă de amplificare a curentului, ceea ce permite o creştere substanţială a limitei R_{xs} (cerinţa e).

Faţă de această situaţie, se pune întrebarea : Care schemă este mai potrivită pentru viitorul megohmmetru românesc de 5000 V : tipul M_L sau M_μ? Considerente legate de preţul de cost şi de cheltuielile de exploatare înclină balanţa, deocamdată în favoarea primului. Însă, pătrunderea circuitelor integrate în domeniul microenergeticii, care deja se observă pe plan mondial şi mai ales ieftinirea acestor circuite, precum şi a bateriilor de alimentare, va face probabil, ca viitorul să aparţină megohmmetrului de tip M sau chiar celui numeric [25].

Concluzii

Cu materiale şi componente produse actualmente în R.S.R. se pot construi megohmmetre tranzistorizate de 5000 V (care actualmente se importă) atît în varianta cu logometru cît şi în cea cu microampermetru şi stabilizator de tensiune.

Dintre aceste două variante, la stadiul actual de dezvoltare a industriei indigene de componente, mai avantajos se arată megohmmetrul cu logometru — avînd bobina derivaţie alimentată în amonte de convertor — deoarece necesită mai puţine elemente semiconductoare şi are consum mai mic de energie de la sursa primară decît cel cu microampermetru şi stabilizator de tensiune.

Bibliografie

[1] Ministerul Energiei Electrice. Catalog de produse I.R.M.E., 1970, p. 8—11.

[2] *Lorenz, E.* Isolationsmesser. În : ATM mai, 1962 p. 105—108.

[3] *** Les ohmmètres et mégohmmètrés à transistors. Mesures, mai 1964, p. 135—137.

[4] *Constantinescu P.* Măsurarea rezistenţei de izolaţie. Bucureşti, Ed. tehnică, 1968.

[5] Metrawatt — Isolationsmesser, Erdungsmesser, Liste T_4, Oktober 1970, S_5 (prospect).
[6] *Gomis, J. P.* Les générateurs electrochimiques d'énergie électrique face aux contraines du marché. În : R.G.E. n = 1, 1972, p. 63—74.
[7] *Merkel, J.* Ein Isolationsmesser mit transistorierten Gleichspannungswandler În : ATM oct., 1970, p. 217—220.
[8] STAS 808, 1968.
[9] MICM — Catalog de aparate de măsurat electrice, ediția 1970.
[10] *Antoniu, M.* Nouvelle métode pour la linéarisation. de l'échelle des voltmètres électrostatiques à aiguille. In : Bull. ASE, nr. 4, févr. 1971, p. 247—254.
[11] *Antoniu M.* Logomètres électrostatiques fonctionnant avec variation de la tension aux électrodes actives. In : Bull. ASE, nr. 12, juin 1972, p. 651—660.
[12] *Arutiunov, V. O.* Instrumente și aparate eletrice de măsurat. București, Ed. Tehnică, 1952, p. 200.
[13] *Felea, I.* ș.a. Circuite cu tranzistoare în industrie. București Ed. Tehnică, 1964, vol. 2, cap. 10.
[14] *Schreiber, H.* Appareile électroniques a transistors. Paris, Editions radio, 1968, chap. 20.
[15] *Barbat, B.* Transformatoare de joasă frecvență. București Ed. Tehnică, 1967.
[16] *Căluneanu, V. M.* ș.a. Semiconductoarele în telecomunicații. București Ed. Tehnică, 1961, p. 276.
[17] *Antoniu. M,* O schemă permițînd micșorarea rezistenței de ieșire la convertorul megohmmetrului românesc de 2500 V. Buletinul Institutului politehnic-Iași, 1972, tom. XVIII (1972), fasc. 3—4, secția II-Electrotehnică, electronică, automatizări (sub tipar).
[18] *Antoniu, M.* Un megohmmetru cu microampermetru și stabilizator de tensiune. Electrotehnica 20, nr. 11, 1972, p. 416—423.
[19] *Antoniu, M.* Alimentarea bobinei derivație a logometrului din megohmmetre, direct de la baterie. Calitatea producției și metrologie, nr. 5, mai 1972.
[20] IPRS — Băneasa. Catalog 1970—1971 (rezistoare, condensatoare, cablaje imprimate).
[21] CEI — Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs et leurs accessoires. Publication 51. Deuxième edition, Genève 1960.
[22] *Antoniu, M.* Utilizarea logometrului din megohmmetre la măsurări de tensiune. Calitatea producției și metrologiei, nr. 2, febr. 1972.
[23] *Antoniu, M.* Megohmmetru tranzistorizat utilizînd logometru cu diode Zenner. Calitatea producției și metrologie, nr. 1, ian 1972.
[24] *Antoniu, M.* Posibilități imediate pentru modernizarea megohmmetrului românesc. Calitatea producției și metrologie, 1972 (sub tipar).
[25] *Marcus, A* și *Lenk, I.* Measurement for technicians. Prentice-Hall, Serie in electronic Technology, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1971, chap. 7.

Intrat în redacție la 15 X 1972.

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE

Cărucioare port-cablu electric la instalațiile de ridicat cu cale de rulare proprie

Sistemele de alimentare cu energie electrică a motoarelor și a aparatajului electric de la instalațiile de ridicat și transportat, care se foloseau pînă nu demult, prezentau unele neajunsuri care se răsfrîngeau negativ asupra exploatării instalațiilor de ridicat. Cablurile electrice erau prinse cu brățări metalice purtate, cu ajutorul unor inele metalice, de-a lungul unor bare de oțel; alimentarea se realiza cu ajutorul unor culegători de curent, care făceau contact cu conductoarele rețelelor electrice de alimentare, prezentînd deficiențe ca : pericolul de accidente grave, chiar de electrocutări (conductorii fiind neizolați), grad mare de uzură datorită mișcării de alunecare prin contact a subansamblelor, nesiguranță în exploatare, o întreținere scumpă și cu cadre calificate. Inginerul Bogdan V. de la Uzina „TRACTORUL" BRAȘOV, analizînd deficiențele sistemului de alimentare, prezentat mai sus, a aplicat un nou sistem de alimentare cu energie electrică a instalațiilor de ridicat și transportat, prin cărucioare port-cablu electric, care circulă pe o cale de rulare proprie, din țeavă rectangulară (secțiune pătrată sau dreptunghiulară).

Construcția cărucioarelor. Căruciorul are construcția ca în figura 1 și anume : la capătul suportului *6* sau *16* se montează — opritorul *5*, pivotul *7*, rondela *8* și placa *9*, care se asamblează între ele prin sudură. Rondela *8* are rolul de pivotare față de suportul *16*; axele *3* se montează pe unul din cele două suporturi prin strîngere circulară (cu o sculă de tip preducea), după care se montează rolele *1* cu șaibele *2* și șplintul de cauciuc *10*, cu ajutorul șuruburilor *13*, de placa *9*. Placa de centrare *17* se sudează pe suportul *16*. Rola și suportul cu 3 canale se pot executa cu mijloace proprii, din material plastic, turnat în cochile sub presiune la cald. Puntea *12* are rolul de întăritor și protector la strîngerea piuliților.

Construcția căii de rulare și montajul cărucioarelor. Cărucioarele *7* sau *8* (figura 2) circulă în coloană pe calea de rulare *6* la o distanță de minimum 1,5 m. Calea de rulare *6* se execută din țeavă rectangulară (livrată de întreprinderile metalurgice din Iași sau București), necesitînd dimensiuni interioare de minimum 30 × 35 și o grosime a peretelui de 1,5—3 mm Canalul, de circa 6 mm, practicat în partea de jos a căii de

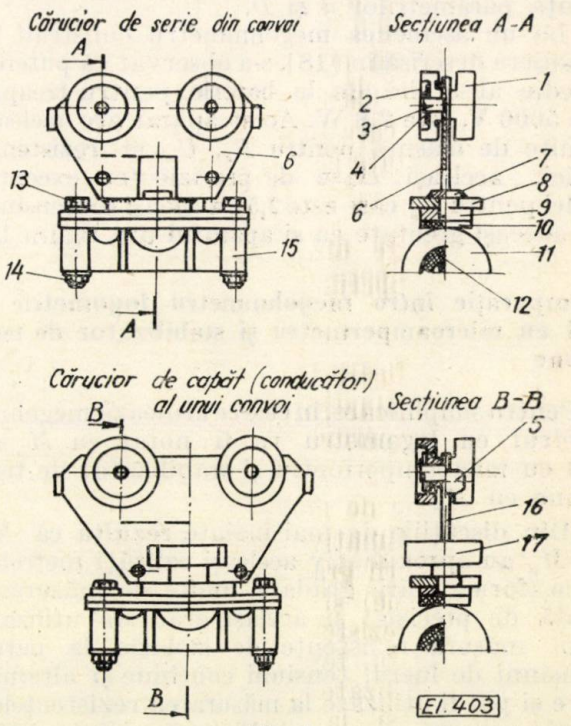


Fig. 1

rulare pentru circularea cărucioarelor, se poate realiza cu o freză circulară sau odată cu laminarea țevii. Calea de rulare *6* se mai poate executa și prin îndoire la abcant. Această cale se suspendă (pe podurile rulante sau pe căile de circulație a podurilor) cu ajutorul suportului de susținere *5*, a bridei *13* și a șuruburilor de finisare. Înnădirea se face cu brățările *12* sudate pe calea *6*. Purtarea cărucioarelor pe linie se face prin

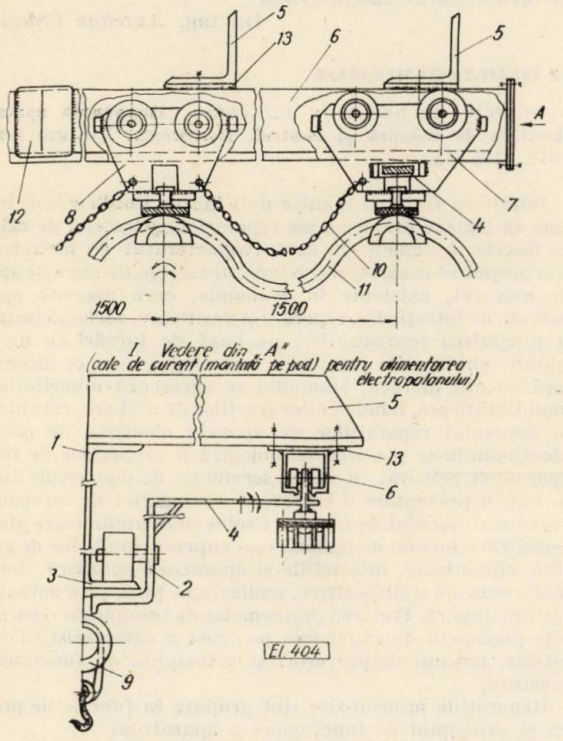


Fig. 2

intermediul lanțurilor 10, eliminîndu-se în felul acesta solicitările la întindere a cablului electric de alimentare cu energie *11*. Cărucioarele circulă în convoi (de serie sau de cap) conduse. de suportul *4*, care se execută în funcție de cerințele de montaj.

Funcționarea. Cărucioarele și calea de rulare, montate așa cum s-a descris mai sus, asigură o funcționare lină, liniștită. Ele se pot utiliza la alimentarea cu energie electrică a instalațiilor de ridicat de orice tip, pe distanțe mari, precum și pentru mai multe poduri, care lucrează pe aceeași cale de rulare. Cablul de alimentare folosit se poate desfășura sau strînge pe cale, cu ușurință, datorită posibilității de pivotare a suportului port-cablu, reducîndu-se prin aceasta solicitările mecanice ale cablului sau ale cărucioarelor.

Condiții tehnice. Căile de rulare se execută în lungimi de 6 m (sudate la 2 m). Sudarea trebuie efectuată pe interior cu multă atenție, întrucît nu sînt admise scursuri sau zgură. precum și denivelări ale îmbinărilor sudate. În funcție de lungimea căii de rulare, sau după dorință, se pot executa porțiuni demontabile, necesare eventualelor reparații. Îmbinarea căilor de rulare pentru convoiul de cărucioare se face cu ajutorul brățării *12* (fig. 2) prin sudare. Legătura între suportul *5* de susținere a căii și calea de rulare *6* se face cu ajutorul suportului de susținere *13*. Între cărucioare se va păstra o distanță de circa 1500 mm ; diametrul lanțului de purtare se alege în funcție de distanța dintre cărucioare, greutatea cablului și lungimea convoiului. Dimensiunile cablului electric vor fi funcție de puterea instalată pe pod și de lungimea de alimentare. Suportul de purtare a căruciorului de capăt 4 se realizează după variantele prezentate, sau în funcție de condițiile locale. Căruciorul se va cadmia sau vopsi înainte de montarea celorlalte subansamble. Pentru suportul cu 1 canal și cel cu 3 canale se va folosi material plastic indigen, montîndu-se, cel cu 1 canal, pentru alimentarea cu energie electrică a podului rulant, iar cel cu 3 canale, pentru alimentarea electropalanului (pe ansamblu se va folosi, deci, un singur suport). Pentru construcția rolei *1* se va folosi material plastic de calitate superioară, de mare rezistență la uzură, temperaturi și intemperii. Puntea *12* se va fixa pe suportul cu unu sau cu trei canale pentru a face corp comun cu acesta.

Inovația s-a realizat pentru o serie de avantaje importante cum sînt : construcția simplă, estetică, ușor de realizat cu mijloacele proprii ale oricărei întreprinderi interesate ; prețul de cost redus, mai ales la producerea unui număr mare de cărucioare, întrucît o serie de piese se pot realiza prin ștanțare, iar calea de rulare, direct prin laminare ; siguranță și durată mare de exploatare ; o mare economie de rulmenți și texlolit, acestea fiind înlocuite cu materiale plastice. Unul din marile avantaje îl prezintă faptul că acest produs poate funcționa în orice mediu (în halele întreprinderilor sau în aer liber, în medii chimice sau de temperatură și de umiditate ; praf, etc.). fără a se deterioara. Întreținerea se face la un cost foarte scăzut.

Construcția se aplică cu rezultate bune la Uzina „Tractorul" din BRAȘOV (de unde se poate obține și documentația necesară) și de asemenea, a fost însușită și de I.S.C.I.R. — BRAȘOV.

C.A

Procedeu tehnologic de fabricarea masei de impregnarea cablurilor de energie de 1—10 kV

Pentru impregnarea cu uleiuri izolante a cablurilor de energie de 1—10 kV, a fost elaborată în cadrul ICPE, în colaborare cu Rafinăria Ploiești și FCME-București, o masă de impregnare pe bază de ulei naftenic avînd rigiditate dielectrică de 20 kV/mm și tangenta unghiului de pierderi de maximum 0,2 %. Masa de impregnare realizată a fost definitivată pe baza unui procedeu tehnologic de impregnare care a fost aplicat la FCME-București și care constă în aceea că uleiul naftenic rafinat este amestecat cu colofoniu în proporție de 8—10%, la temperaturi de 110—120°C. Noul procedeu tehnologic de fabricarea masei de impregnare a cablurilor de energie de 1—10 kV, elimină vechiul procedeu pe baza de ulei aromatic și conferă performanțe electrice sporite cablurilor respective. Se menționează de asemenea eficiența economică a noului procedeu care permite reducerea prețului de cost al cablurilor cu 8...9%. Încercările electrice comparative efectuate pe cablurile de energie de 1—10 kV, impregnate în varianta anterioară și în varianta cu ulei naftenic au pus în evidență faptul că rigiditatea dielectrică a cablurilor a crescut cu 5—6 kV/mm iar tangenta unghiului de pierderi a scăzut de aproape 10 ori, ceea ce conduce la mărirea duratei de viață a cablurilor respective. Pentru definitivarea noului procedeu tehnologic de fabricarea masei de impregnarea cablurilor au fost efectuate de asemenea cicluri de îmbătrînire artificială a cablurilor impregnate cu noul amestec constînd din încălzirea lor la curentul de sarcină și la o tensiune de încărcare de două ori mai mare decît tensiunea nominală. După aceste cicluri a fost măsurată tangenta unghiului de pierderi dielectrice și s-a constatat că ea nu înrăutățește, ceea ce a condus la concluzia că procedeul tehnologic adoptat este corespunzător și superior vechiului procedeu de impregnarea cablurilor.

C. C

RECENZII

CZ 621.312.32

V. M. KUCEVALOV. **Maşinile sincrone în regimuri simetrice stabilizate** (Sinhronnie maşinî v ustanovivşihsea simetricinîh rejimah). Riga, Editura Zinatne, 1972, 243 pag.

Prezenta monografie este consacrată expunerii bazelor teoriei liniare a maşinilor sincrone, care funcţionează în regimuri simetrice stabilizate. Particularitatea caracteristică a materialului expus constă în folosirea largă a metodelor, terminologiei şi notaţiilor întîlnite în teoria maşinilor asincrone. În afară de aceasta, teoria expusă a fost elaborată cu minimum de ipoteze simplificatoare, ceea ce o face aplicabilă la un număr însemnat de maşini sincrone utilizate în prezent. De asemenea, sînt expuse unele probleme ale teoriei maşinilor sincrone fără contacte, ale teoriei maşinilor sincrone reactive, ale teoriei maşinilor sincrone, în care se foloseşte energia armonicilor superioare ale cîmpului magnetic ş.a.

În introducere sînt prezentate principalele tipuri de maşini sincrone, problema scrierii ecuaţiilor acestor maşini, precum şi cea a stabilirii schemelor echivalente ale circuitelor electrice de curent alternativ care au miezuri magnetice.

Capitolul 1 este intitulat „Schemele echivalente, parametrii şi ecuaţiile principale ale maşinii sincrone cu poli înecaţi". Inductorul rotativ, a cărui înfăşurare este alimentată în curent continuu, este echivalat cu un inductor fix,prevăzut cu o înfăşurare polifazată, alimentată de la un sistem polifazat de tensiuni. În acest fel, pentru maşina sincronă se poate stabili o schemă echivalentă similară cu aceea a maşinii asincrone cu rotor calat; particularitatea acestei scheme constă în faptul că curentul I_2, corespunzător excitaţiei, este dat de un generator de curent introdus în circuitul secundar. După ce se determină impedanţa ramurii de magnetizare, se scriu ecuaţiile principale ale tensiunilor şi curenţilor, apoi se prezintă bilanţul de puteri, expresia cuplului electromagnetic, diagramele energetice şi diagramele fazoriale. În final, se stabileşte schema echivalentă în care impedanţa de magnetizare este adusă la borne.

În cel de al doilea capitol se discută ecuaţiile, caracteristicile şi locurile geometrice ale curenţilor maşinii sincrone cu poli înecaţi, care funcţionează în paralel cu o reţea de mare putere. Se examinează atît cazul cel mai general, cînd se ţine seama de rezistenţele înfăşurării indusului şi de pierderile prin magnetizarea circuitului magnetic, cît şi cazurile particulare care rezultă din acesta.

Capitolul al treilea este consacrat studiului maşinii sincrone cu poli aparenţi. Se prezintă schemele echivalente, parametrii, ecuaţiile principale şi caracteristicile acestei maşini electrice.

În capitolul 4 se expune teoria maşinii sincrone reactive. Se descriu cîteva dintre cele mai răspîndite forme constructive ale rotorului acestei maşini, se examinează repartiţia cîmpului magnetic în întrefier, se dau schemele echivalente şi caracteristicile de funcţionare. În final, se prezintă cîteva aspecte referitoare la procesul de convertire electromecanică a energiei, pe baza lucrărilor profesorului român V. N. Nedelcu, ale cărui contribuţii însemnate în acest domeniu sînt unanim recunoscute şi apreciate.

În capitolul 5 sînt analizate maşinile sincrone fără contacte. Se discută schemele echivalente, parametrii şi diagramele fazoriale pentru maşinile cu poli în formă de gheară şi pentru cele omopolare.

În ultimul capitol, al 6-lea, se expune teoria maşinilor sincrone cu poli aparenţi, care folosesc energia armonicilor superioare ale cîmpului magnetic. După ce se arată procesele fizice de bază, se stabilesc schemele echivalente pentru înfăşurarea principală şi pentru înfăşurarea auxiliară a indusului şi se construiesc diagramele curenţilor din înfăşurarea principală.

Lucrarea prezintă interes pentru toţi cei care lucrează în domeniul maşinilor electrice precum şi pentru studenţii de la facultăţile de electrotehnică, automatică şi energetică. Avînd în vedere modul original de tratare şi nivelul ridicat al expunerii, considerăm că traducerea în limba română a acestei cărţi ar fi utilă, deoarece ar contribui la modernizarea mai rapidă a modului de prezentare a teoriei maşinilor electrice în învăţămîntul nostru tehnic.

Dr. ing. *Aurelian Crăciunescu*

CZ 621.316.7+621.317.7.004.86

G. SLAPCIU. D. BOBOC şi E. IANCU. **Repararea aparatelor electrice de măsură şi control**. Bucureşti, Editura tehnică, 1972, 275 pag.

Iniţiativa Editurii tehnice de a începe publicarea de lucrări care să trateze probleme ale reparaţiei aparatelor de măsurat se înscrie în temele pe care Inspectoratul de metrologie şi le-a propus să le elaboreze. Numărul extrem de mare de aparate de măsurat, existente în economie, care necesită operaţii curente de întreţinere, reparare şi verificare, reclamă instruirea şi pregătirea reparatorilor, pe bază de lucrări cu un solid suport tehnic, şi în particular metrologic, ceea ce încearcă să facă autorii lucrării. Manualul se adresează muncitorilor de înaltă calificare, tehnicienilor şi şefilor de ateliere, care lucrează în domeniul reparaţiilor de aparate electrice de măsurat. Menţionîndu-se plasarea tehnologică a atelierelor de reparat aparate de măsurat, în cadrul serviciilor de metrologie uzinale, se face o prezentare a structurii unui astfel de serviciu şi a organizării locului de muncă. Problemele preliminare aferente organizării locului de muncă, mai cuprind condiţiile de amplasare, climatizare, instalaţiile şi aparatura auxiliară, dîndu-se multe scheme şi dispozitive, realizate în ţară, prin autoutilare, sau din import. Tratarea problemelor de tehnologia reparaţiilor este precedată de expunerea pe scurt a caracteristicilor aparatelor, noţiuni despre erori şi principiile de funcţionare a acestora.

Reparaţiile propriu-zise sînt grupate în funcţie de precizia lor şi principiul de funcţionare a aparatului.

Aparatele de precizie, pe principii de punţi şi compensaţie, ca şi rezistenţele etalon sînt descrise separat, prezentîndu-se defecţiunile cele mai curente, precum şi modul de remediere.

O parte din aparatele cu pondere mare în economie, utilizate în special în tranzacţii comerciale, sau pentru uz casnic, au fost extrase într-un alt capitol, în care este vorba în special, de contoarele electrice, prezente în număr extrem de mare în economie, ca şi de aparatele universale, de tip voltamperohmmetre, necesare cu precădere depanatorilor de radio şi televiziune, precum şi electricienilor. Tratarea fiecărui tip reprezentativ de aparat s-a făcut după o metodologie raţională, care cuprinde consecutiv descrierea constructivă şi funcţională, prezentarea principalelor defecţiuni potenţiale şi verificarea metrologică.

Partea descriptivă se încheie cu abordarea detaliată a problemelor de păstrare şi transport a instrumentelor, aspecte foarte importante în prevenirea şi evitarea defecţiunilor, dar netratate cu toată atenţia de cei ce lucrează cu aparate de măsurat.

Lucrarea cuprinde o serie de anexe extrem de utile pentru şefii de ateliere metrologice (listele de dotare cu scule şi materiale necesare atelierelor), cît şi pentru reparatori (listele cu sinteza principalelor defecţiuni posibile şi modul lor de remediere).

Tabelele, cuprinzînd toate tipurile de instrumente de măsurat fabricate în ţară, pun la dispoziţie şi celorlate categorii de ingineri şi tehnicieni, care lucrează în producţie şi mai ales în proiectare, date sistematizate, foarte utile.

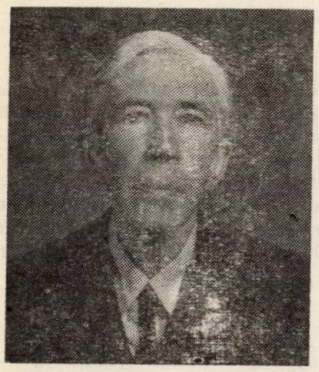
Expunerea este cursivă, clară şi accesibilă tuturor categoriilor cărora se adresează cartea, iar tratarea metodică o face uşor inteligibilă.

Lucrarea constituie un început, ce poate fi continuat şi care va trebui să completeze lucrările puţine, dar din ce în ce mai necesare metrologiei uzinale.

Ing. *N. Rădulescu*

ANIVERSĂRI

Profesorul doctor docent Matei Marinescu la vîrsta de 70 de ani



Matei Marinescu s-a născut în anul 1903 la București. Aici și-a făcut o serie de studii, obținînd în anul 1926, la absolvirea Școlii politehnice, titlul de inginer electromecanic. Continuă apoi să studieze la Școala superioară P.T.T. din Paris, unde, în 1928 își susține cu succes cea de a doua diplomă de inginer. În perioada 1935—1936 se specializează în probleme de ultrasunete la Institutul Jean Perrin din Paris. Munca de studiu intens îi aduce în 1932 titlul de doctor docent în științe tehnice, iar în 1942 diploma de doctor inginer.

Activitatea și-a desfășurat-o în cadrul Direcției generale P.T.T. din București și începînd cu anul 1929 se dedică muncii didactico-științifice din învățămîntul superior, ocupînd mai întîi funcția de asistent, apoi de șef de lucrări, iar în anul 1942 conferențiar la catedra de electrocomunicații a Institutului politehnic — București.

În domeniul cercetării științifice devine în 1948 membru corespondent al Academiei R.P.R. și apoi ocupă funcția de șef de secție și conducător științific la Institutul de energetică al Academiei R.P.R.

Tovarășul Matei Marinescu, membru corespondent al Academiei R.P.R. a îmbinat în îndelunga sa activitate problemele de tehnică inginerească, de învățămînt superior și de cercetare științifică reușind să formeze numeroase cadre valoroase pentru desăvîrșirea procesului de construcție a societății noastre socialiste.

În calitate de inginer a efectuat lucrări la prima centrală telefonică automată „Dacia", continuînd cu automatizarea altor centrale telefonice și contribuind la combaterea perturbațiilor telegrafice asupra liniilor telefonice.

La Institutul politehnic București organizează primele laboratoare de electrocomunicații și de electroacustică. După anul 1948 redactează primul curs de electroacustică din țara noastră, domeniu în care formează primele cadre calificate pentru construcția de aparate și instalații electroacustice.

Tovarășul profesor dr. docent Matei Marinescu a desfășurat și desfășoară o intensă activitate științifică, publicînd peste 150 lucrări originale.

Primele realizări științifice încep în 1928 cu lucrarea „Receptor telefonic", executată la Școala superioară P.T.T. din Paris și cu invenția „Microfon multicelular" brevetată în țară, în Germania și Anglia.

În intervalul anilor 1936—1944 lucrează în domeniul „reacției pozitive", publicînd rezultatele în revistele Wireless Engineer, L'Onde Electrique și Compte Rendus (Acad. Sci. Paris). Aprecierea acestei activități este remarcată în cărțile unor autori consacrați ca R. Mesny, M. Kontesch-weller și Barkhausen. În anul 1942 în laboratoarele prof. Barkhausen dezvoltă teoria „reacției pozitive", realizînd reacția „Pushpull" aplicată etajului final al amplificatorului de putere, reducînd distorsiunile de armonici.

În paralel cu cercetările în domeniul „reacției pozitive" lucrează la problema atenuării reacției microfon — difuzor, publicînd articole în revistele Wireless Engineer și L'industrie Francaise Radio-Electronique. Rezultatele au fost aplicate la regulatoarele de circulație C.F.R. pe linia București-Fetești și sintetizate în lucrarea „Micro-difuzorul".

Între anii 1946—1948 preocuparea principală este realizarea aparatului radio popular fără lămpi.

După 1948 maturitatea științifică a prof. dr. docent Matei Marinescu îl conduce la lărgirea orizontului de cercetare, activînd în următoarele domenii : electroacustică, electrocomunicații, electronică, electrochimic, termoelectricitate, electrotehnică, mașini electrice cu mișcare liniar-alternativă, automatică și sonicitate. Lucrările originale rezultate au fost publicate în majoritatea lor în revistele Academiei R.S.R și în principalele reviste de specialitate străine.

Se remarcă în mod deosebit ciclul de lucrări științifice asupra mașinilor electrice parametrice (motoare cu mișcare liniar—alternativă) și ciclul de lucrări referitoare la generatorul termoelectric de mare randament care în final au fost brevetate atît în țară cît și în străinătate.

Rezultatele obținute în domeniul motoarelor cu mișcare liniar-alternativă au fost confirmate de numeroși autori străini ca : V.A. Taft (U.R.S.S.) ; M. Poloujadoff și S. Baron (Franța) ; H. Sequenz (Austria) ; Jejerin (U.R.S.S.) ; S. Kudaraskas (U.R.S.S.) ; M. Bourdé și F. Perreau — (Franța) etc. Interesul deosebit produs de aceste lucrări a dus la realizarea unor colaborări pentru aplicarea invențiilor la acționarea compresoarelor. Se poate menționa colaborarea cu Institutul pentru tehnica frigului din Dresda, cu uzinele Scharfenstein și cu compania Thomson-Houston.

În termoelectricitate prezintă un nou fenomen privind transformarea căldurii fără gradient de temperatură în energie electrică, ceea ce permite obținerea de generatoare termoelectrice de mare randament.

Propunerea de aplicare a acestui nou fenomen a fost brevetată în țară și este în curs de brevetare și în alte țări.

Un alt domeniu de activitate în care a publicat numeroase articole, în revistele străine, este acela al pilelor cu combustie internă.

Din anul 1932 prof. dr. docent Matei Marinescu duce o activitate științifică valoroasă pe plan internațional prin comunicări la congrese, conferințe de prezentare a unor lucrări științifice personale etc. În acest context se înscrie comunicarea de la Congresul internațional de electricitate din 1932 ; comunicările de la congresele din Bruxelles, Paris, Istambul, conferințele de la Paris, Grenoble, Poitiers, Nancy etc.

În același timp ia parte la numeroase sesiuni științifice ale instituțiilor din ramura electrotehnicii din țară.

Profesorul Matei Marinescu în cadrul multiplelor sale preocupări a organizat și ținut conferințe, scoțînd în evidență realizările științifice ale înaintașilor noștri ca ing. George Constantinescu și academician prof. N. Vasilescu-Karpen.

Recunoașterea meritelor sale se reliefează și prin alegerea ca membru al Societății franceze a electricienilor și al Societății franceze a electrotehnicienilor și radioelectricienilor. În țară duce o muncă activă în cadrul Comisiilor de Acustică și Magnetohidrodinamică ale Academiei R.S.R.

Întreaga activitate științifică, didactică și inginerească a tovarășului prof. dr. docent Matei Marinescu, membru corespondent al Academiei R.S.R. a fost și este dăruită dezvoltării cercetării științifice, creșterii noilor cercetători, afirmării rezultatelor științei românești în străinătate și de popularizarea ei în rîndurile inginerilor și tehnicienilor români.

Redacția revistei „Electrotehnica", îi urează tovarășului prof. dr. docent Matei Marinescu încă mulți ani în continuarea deosebitei sale munci creatoare în domeniul științei românești.

prof. dr. docent ing. *V. Corlățeanu*

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

„Accelerarea ritmului de diversificare și modernizare a producției"

Consfătuire organizată la București cu specialiști din industria constructoare de mașini și electrotehnică

Expresie a progresului tehnic, pe care îl promovează în celelalte ramuri ale economiei, industria electrotehnică se bucură, în România, de un ritm prioritar de dezvoltare și pune pe primul plan al preocupărilor sale fabricația de mașini și utilaje noi sau modernizate.

Este semnificativ faptul că producția industriei electrotehnice și electronice din anul 1950, cantitativ, a fost realizată în anul trecut în numai două zile ; iar în 1975, producția acestei industrii va depăși volumul întregii ramuri constructoare de mașini obținut cu un deceniu înainte (1965).

Activitatea de asimilare a produselor noi în electrotehnică influențează direct nivelul de progres și eficiență al celorlalte ramuri industriale, deoarece aceste produse, cu performanțe ridicate, consumuri specific de materiale și manoperă mai reduse, un grad înaintat de integrare, sînt destinate să asigure înzestrarea tehnică a tuturor întreprinderilor. De aici, derivă cerința obiectivă ca planurile de asimilări și modernizări din industria electrotehnică să devanseze pe acelea din alte ramuri, iar activitatea de concepție — cercetare, proiectare — să se desfășoare într-un ritm cît mai rapid. În industria electrotehnică din România, actualul cincinal aduce reînnoirea a peste două treimi din produsele aflate în fabricație.

Consfătuirile și sesiunile de comunicări științifice care s-au desfășurat *cu ocazia sărbătoririi pentru prima dată a „Zilei constructorilor de mașini din Republica Socialistă România"* au avut în general ca teme aportul cercetării la progresul ramurii prin soluții tehnologice și constructive noi, dezvoltări, modernizări de produse, îmbunătățirea parametrilor. Consfătuirea care a avut loc la București la 25 iunie a.c. a reunit cercetători și proiectanți din institute și unități producătoare, pentru dezbateri în jurul temei „Grăbirea ritmului de diversificare și modernizare a producției".

Prima comunicare, a *conducătorului Direcției generale tehnice și investiții din Ministerul Industriei Construcțiilor de Mașini Grele — Ion Crișan* — a dezvoltat ideea „Accelerarea progresului tehnic, condițiile de sporire a eficienței și competivității produselor". Cifrele statistice demonstrează scurtarea considerabilă pe care o înregistrează durata, intervalul de timp care trece de la o descoperire și pînă la aplicarea ei în practică ; de exemplu pentru telefon au fost necesari 56 de ani, pentru circuitele integrate, numai 3 ani spre a fi introduse în producția industrială și utilizarea pe scară largă.

În fața sporirii continue a vitezei cu care ia naștere progresul tehnic, condiția obligatorie pentru eficiența și competivitatea produselor românești constă — a subliniat vorbitorul — în *dezvoltarea mai departe a potențiaului propriu de cercetare*, indispensabil atît pentru a realiza creații integral proprii, cît și pentru a dezvolta licențele achiziționate.

„Principiul de bază al dezvoltării cercetării în construcția de mașini a fost obținerea unei legături fluente între cercetare și fabricație, a unui *lanț complet al transferului tehnologic*, prin realizarea completă și integrală a produsului — cercetare, proiectare, execuție — în aceeași unitate".

Vorbitorul a mai reliefat un alt aspect major ce se referă la *selecția temelor de cercetare*: trebuie să se facă nu numai în funcție de posibilitățile existente de rezolvare, ci mai *ales după necesitățile care reclamă soluționare*. De altfel, rolul actual al unui producător, al unui furnizor este de a rezolva problemele și doleanțele manifestate de beneficiar.

Definirea unui profil propriu de cercetare este un alt aspect al cercetării legate de introducerea progresului tehnic. Selecționarea produselor pentru care se desfășoară cercetare și proiectare trebuie astfel efectuată încît, ținînd seama de experiența acumulată care să permită rezolvări prompte și eficiente, cum și posibilitățile de export și de cooperare internațională în producție și desfacere, să se realizeze impunerea în mod competitiv a produsului pe piața mondială.

Tehnica proiectării a făcut de asemenea progrese importante *proiectantul modern fiind asistat de calculator* nu numai pentru rezolvarea calculelor laborioase și pentru optimizarea soluțiilor, dar și pentru acțiunea de proiectare însăși. Un loc de muncă pentru proiectare asistat de calculator este prevăzut cu un ecran catodic cu creion electronic și un echipament periferic de introducere a datelor, cu o conexiune între calculator și un aparat de realizare a microfilmelor și cu un depozit de date și desene tip.

* * *

În cuvîntul său, *directorul Institutului de cercetări și proiectări pentru industria electrotehnică — Florin Tănăsescu* — s-a oprit asupra *creșterii rolului tehnologiei ca factor de competiție în orice industrie*. „Sume uriașe se acordă pentru cercetări tehnologice, se elaborează prognoze tehnologice deosebit de complexe, se alcătuiesc modele ale sistemelor tehnologice asupra traseelor unor noi tehnologii. De altfel, însăși noțiunea de tehnologie a evoluat către un înțeles mult mai complex, transferul de tehnologie reprezentînd un proces alcătuit din componente verticale și orizontale, elemente care contribuie la realizarea unui sistem funcțional, utilaje, procedee, materiale".

Un exemplu din activitatea Institutului de cercetări și proiectări pentru industria electrotehnică îl constituie *cercetările în domeniul mașinilor electrice cu întrefier axial și rotor disc*, cercetări ale căror rezultate au fost concretizate în cîteva invenții românești medaliate în anul 1972 la Tîrgul internațional de la Caen. Dezvoltarea rapidă a mașinilor-unelte cu comandă program numerică a impus construirea unor servomotoare care să dezvolte cupluri impulsionale de valoare ridicată, împreună cu o viteză mare de răspuns, deci inerție redusă. În străinătate există cîteva brevete în acest domeniu, mașinile respective fiind scumpe, tocmai datorită avantajelor mari pe care le oferă.

În I.C.P.E. a fost realizată o serie de astfel de *servomotoare cu întrefier și rotor disc — SMU* — fiind executate după o tehnologie proprie. În principal, servomotorul este alcătuit din două flanșe cu magneți permanenți care creează un cîmp de excitație magnetic axial, în care se află rotorul. Acesta este format din mai multe straturi de conductoare lamelare ștanțate în bandă de cupru, izolate între ele prin straturi de țesătură de sticlă impregnată cu rășină epoxidică. Jumătate din numărul de conductoare rotorice au în prelungirea lor lamele de colector, care alcătuiesc un colector separat. Conductoarele între ele și lamelele de colector sînt interconectate prin suduri, astfel încît formează o înfășurare închisă ondulată, serie, sau serie-paralel. Alimentarea motorului se face prin intermediul sistemului de perii care calcă pe colectorul separat ; concepția sistemului portperii asigură un bun contact electric și accesul ușor la perii. Motorul are de regulă două capete de ax, unul pentru acționare, iar altul pentru fixarea unui tahogenerator.

Este remarcabil faptul că întreaga tehnologie complexă, cu utilajele și sculele necesare — de exemplu instalația pentru sudarea cap la cap a conductoarelor —, au fost studiate și puse la punct în institut, multe constituind invenții.

Din seria SMU fac parte servomotoarele cu puterile utile de 184 W, 370 W, 750 W, 1500 W, 2200 W, 4000 W și 5500 W — turația fiind de 3000 rot/min. Concepția după care sînt construite permite o serie de avantaje, unele de ordin electric, de exemplu pornire rapidă, reglaj precis, rotire în ambele sensuri, gamă foarte largă de turații, constantă de timp electromagnetică practic nulă — și altele de ordin mecanic : inerție foarte mică a rotorului disc, constantă de timp mecanică foarte mică — aproximativ 10 ms — dimensiuni de gabarit reduse, geometrie favorabilă fixării pe mașini-unelte

Prezintă și avantaje în plus față de tipurile străine și anume, avînd un colector (pista de comutație) separat, durata de lucru (viața produsului) și siguranța în funcționare sînt mult mai sporite.

În afară de comanda mașinilor unelte, aceste motoare electrice cu întrefier axial și rotor disc sînt utilizate și la acționarea automată a vanelor, pentru funcționarea aerotermelor auto, pentru acționarea electrobicicletelor; în acest din urmă caz, pentru alimentarea motorului se utilizează o baterie de acumulatoare de 24 V.

* * *

„*Electroputere — Craiova*", una din marile uzine ale industriei noastre electrotehnice, stăpînește astăzi o bogată experiență în domeniul construcției de locomotive electrice, de mașini electrice rotative, de transformatoare, de aparataj de înaltă tensiune, datorită, în primul rînd, dezvoltării continue a activității de concepție, a cercetărilor pentru diversificarea sortimentală în cadrul profilului său de bază, modernizarea tipurilor existente, ridicarea performanțelor. În prezent, ponderea produselor noi și reproiectarea reprezintă 60 % din producție, ele fiind cunoscute în peste 30 de țări ale lumii, situate în patru continete.

De exemplu, așa cum evidențiia *Dumitru Cîrstea, directorul științific al uzinei*, datorită caracteristicilor tehnice superioare, *locomotivele diesel electrice de 2100 CP* au fost solicitate în străinătate, România devenind un exportator important în acest domeniu. Ceea ce a determinat succesul, au fost îmbunătățirile aduse, rod al cercetărilor întreprinse de colectivul uzinei. „Printre principalele modificări trebuie menționate: realizarea unei viteze sporite de 120 km/h, pentru trenuri de călători; utilizarea puterii totale a motorului diesel pînă la viteza maximă, ceea ce a dat o caracteristică de tracțiune îmbunătățită; aplicarea unei noi scheme de slăbire a cîmpului electric al motoarelor de tracțiune, cu trei trepte de șuntare; separarea circuitului de forță de circuitele auxiliare și îmbunătățirea sistemului de punere la masă; îmbunătățirea sistemului de siguranță a circulației; folosirea unor noi tipuri de bobinaje rotor la generatorul principal, mai ușor de realizat și cu o siguranță sporită în exploatare; adaptarea părții frontale a locomotivei pentru a putea prelua cupla centrală automată; de asmenea, îmbunătățirea condițiilor de confort ale personalului care deservește locomotiva".

O serie întreagă de modernizări și îmbunătățiri au fost aduse și *locomotivei electrice de 5100 kW*, una din cele mai puternice din lume, la care sînt folosite redresoare de siliciu.

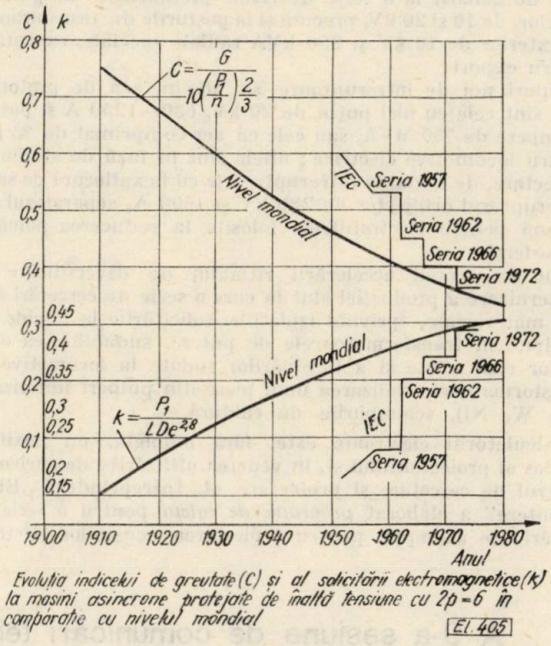
Parametrii actuali ai locomotivei electrice executate de întreprinderea „Electroputere" situează acest produs la nivelul celor mai bune pe plan mondial. Totuși, colectivul din Craiova continuă cercetările pentru a-i aduce noi perfecționări.

Fabrica de mașini electrice rotative din cadrul uzinei realizează *motoare sincrone* pentru compresoarele de aer sau pompe, *generatoare sincrone* care echipează motoarele diesel pentru alimentarea cu energie electrică a stațiilor de foraj sau pentru grupurile navale; de asemenea, construiește *mașini electrice de curent continuu* destinate echipamentelor electrice de tracțiune de la locomotivele diesel-electrice și electrice, cum și motoare de 400 kW și 850 kW pentru stațiile de forare la mare adîncime. Pentru a satisface necesitățile beneficiarilor externi, motoarele se execută în diverse variante și cu protecție climatică. Fabrica mai execută *motoare asincrone* de 3000 kVA și *compensatoare sincrone* de 15000 kVAr.

Figura 1 sugerează o imagine asupra procesului de dezvoltare a fabricației și asupra realizărilor atinse. Nivelul mondial este marcat de cele două curbe trasate conform curbelor de evoluție calitativă a fabricației celor mai avansate firme din lume, determinate prin studiul elaborat de acad. Kuznețov din U.R.S.S.; s-a făcut și extrapolarea pentru întreg deceniul actual. Analiza lor evidențiază procesul rapid de micșorare a decalajului, cum și faptul că acesta a atins în prezent ordinul de mărime al perioadei de asimilare a unei serii. O dată cu proiectele noii serii, Intreprinderea „Electroputere" Craiova se află în fruntea firmelor de renume mondial în acest domeniu.

„Pentru a asigura o creștere sensibilă a nivelului tehnic și economic al celei mai noi serii de mașini electrice, concomitent cu o mai mare stabilitate în fabricație și capabile de a înfrunta competiția existentă pe piața mondială, s-a impus necesitatea dimensionării optime, ținînd seama și de criterii economice.

Rezolvarea a fost obținută cu ajutorul calculatorului electronic. În vederea creșterii productivității, a fost elaborat un sistem unitar de mașini electrice, cu un număr cît mai mare de repere și subansamble comune pe gabarit și chiar între gabarite. Toate variantele constructive se realizează din mașina protejată, la care, prin adăugarea unor subansamble se reali-



Evoluția indicelui de greutate (C) și al solicitării electromagnetice (k) la mașini asincrone protejate de înaltă tensiune cu 2p = 6 în comparație cu nivelul mondial

EI 405

Fig. 1

zează diversele protecții și tipurile constructive directe. În aceste condiții, a fost posibil să se lanseze în fabricație loturi de mașini, subansamble și repere optime din punct de vedere al fabricației, obținînd totodată o producție sporită."

Cercetările urmăresc în prezent diversificarea seriei, elaborarea unor tipuri în construcție verticală, sau pentru funcționarea în aer liber, antiexplozive, construcții speciale pentru macarale, sau pentru funcționarea pe plan înclinat. Cercetările în domeniul ventilației vor pune bazele unei noi serii de mașini electrice pentru solicitări mult mai ridicate.

Datorită activității sale de concepție în domeniul transformatoarelor electrice, întreg sistemul energetic național, încă de la începutul electrificării țării noastre, a fost dotat cu aceste mașini fabricate de „Electroputere" Craiova. Continua îmbogățire sortimentală a mers paralel cu ridicarea performanțelor tehnice ale transformatoarelor, ele fiind acum perfect comparabile cu cele ale produselor similare aflate pe piața mondială și realizate de firme cu renume și experiență.

În prezent, 90 % din tipurile aflate în fabricație curentă sînt proiectate sau reproiectate în ultimii 5 ani, tendința actuală fiind de a reduce această perioadă la 4 ani.

Laboratorul de înaltă tensiune intrat recent în funcțiune deservește în primul rînd producția de *transformatoare de mare putere*; este dotat cu toate utilajele necesare pentru încercarea transformatoarelor cu tensiuni pînă la 765 kV, la cele mai severe probe.

Programul de perspectivă pînă la sfîrșitul acestui deceniu prevede noi reproiectări și asimilări, ceea ce impune o activitate susținută de cercetare, proiectare și punere la punct a unor noi tehnologii.

In domeniul aparatajului electric de înaltă tensiune, cercetările întreprinse de colectivul uzinei „Electroputere" din Craiova au dus la introducerea în fabricație a numeroase produse noi la un nivel tehnic comparabil cu acela al produselor firmelor de același profil din Europa, produse care satisfac solicitările de echipament pentru stațiile de transformare și distribuție a energiei electrice și pentru centralele electrice.

De exemplu, întreruptoarele automate cu ulei puțin acționate cu mecanisme cu resoarte, oleopneumatice și cu aer comprimat, se execută în 21 de tipuri.

Tot la un nivel competitiv cu produsele prezentate pe piața mondială se află și alte produse ale uzinei, cum sînt *transformatoarele de măsură de medie și înaltă tensiune, celulele de stație de interior* cu un sistem de bare tip CII—M—L—10, echipate, cu întrerupător IO în ulei puțin și celule tip CII—1—10b cu putere de rupere mărită. S-au obținut și reduceri substanțiale de gabarit la o serie de celule prefabricate de post de interior, de 10 și 20 kV, precum și la posturile de transformare de exterior de 10 kV și 250 kVA radiale speciale, executate pentru export.

Tipuri noi de întreruptoare se află în fază de prototip, cum sînt cele cu ulei puțin de 20 kV, 630—1250 A și puteri de rupere de 750 MVA, sau cele cu aer comprimat de 25 kV pentru locomotive electrice; altele sînt în fază de studiu și proiectare, de exemplu întreruptoarele cu hexaflorură de sulf, întreruptorul ortojector de 220 kV și 1600 A, separatorul de sarcină pentru electrofiltrele folosite la reducerea poluării atmosferei.

Tot în scopul accelerării ritmului de diversificare și modernizare a producției sînt în curs o serie de cercetări din cele mai variate, privind izolațiile, solicitările la impuls de tensiune în transformatoarele de putere, sudabilitatea oțelurilor slab aliate și a îmbinărilor sudate la locomotive și transformatoare, realizarea unor piese din pulberi sinterizate (Cu, W, Ni), schimburile de căldură.

Calculatorul electronic este, fără îndoială, un auxiliar prețios al proiectantului și, în vederea utilizării sale eficiente, Centrul de cercetare și proiectare al Întreprinderii ,,Electroputere" a elaborat *programe de calcul* pentru o serie de lucrări, de exemplu, pentru proiectarea mașinilor electrice asincrone de înaltă și joasă tensiune, cu rotor în scurtcircuit și cu rotor bobinat, proiectarea transformatoarelor de curent, studiul unor fenomene tranzistorii la mașini electrice rotative, transformatoare și aparate electrice și altele.

* * *

În sprijinul direct al cercetărilor și proiectanților, în scopul accelerării introducerii și dezvoltării progresului tehnic în domeniul electrotehnicii, *Oficiul de documentare și publicații tehnice* al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini Grele și al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini Unelte și Electrotehnicii elaborează și difuzează o serie de publicații privind nivelul atins pe plan mondial: BIT — pentru ingineri, BITE — pentru cadrele de conducere, NM — pentru tehnicieni, maiștri, muncitori; de asemenea, se fac cunoscute realizările institutelor și uzinelor din întreaga țară, prin cataloagele de produse unicate și de produse de serie — CA și CO —. În ultimul an, Oficiul s-a ocupat de mijloacele moderne de propagare a noutăților — *mijloacele audiovizuale* — și a elaborat filme și diapozitive în culori; de exemplu filmul ,,Autoutilarea contribuie la promovarea tehnicii noi" prezintă realizări în domeniul electrotehnicii; cîteva serii de diapozitive prezintă micromotoare electrice, aparataj electric de joasă și înaltă tensiune, motoare electrice antigrizutoase, încercările mașinilor electrice, fiabilitatea.

Cu ocazia consfătuirii, O.D.P.T. a prezentat cîteva standuri cu publicațiile sale, ceea ce a însemnat un bun prilej pentru participanți de a lua cunoștință asupra posibilităților de informare — primul pas în activitatea de cercetare și proiectare.

Ing. *Teodosia Oprescu*

A 9-a sesiune de comunicări tehnico-științifice a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică

În cinstea ,,Zilei constructorilor de mașini", eveniment anual intrat de acum în tradiția industriei românești Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (I.C.P.E.) a organizat în ziua de 4 iulie 1973, în incinta institutului, ,,A IX-a sesiune de comunicări tehnico-științifice I.C.P.E.", sesiune festivă, cu tema ,,Aportul I.C.P.E. la dezvoltarea industriei electrotehnice românești.

După cuvîntul de deschidere și referatul Dr. ing. Florin Tănăsescu: ,,Activitatea I.C.P.E. în dezvoltarea electrotehnicii. Istoric, politică și strategie", a fost prezentat un număr restrîns de referate de sinteză, privind contribuția I.C.P.E. la dezvoltarea domeniilor: mașini și transformatoare electrice; redresoare, utilaje de sudare și echipamente complexe de acționare și electroenergetice; aparate și echipamente de înaltă tensiune; echipamente electrice și aparataj de joasă tensiune; materiale electrotehnice anorganice; materiale electrotehnice organice și sisteme de izolație; cercetări privind calitatea produselor electrotehnice; introducerea calculului electronic în cercetare, proiectare și activitatea de gestiune în industria electrotehnică.

Referatele au constat din scurte expuneri, sprijinite pe un număr important de diapozitive și cîteva filme de scurt metraj, realizate cu mijloacele institutului, scoțîndu-se în relief numai caracteristicile de bază ale produselor, materialelor sau procedeelor tehnologice realizate. Aceste expuneri au constituit tot atîtea ocazii pentru discuțiile care s-au purtat între numeroșii participanți din industrie, din comerț și din învățămînt, cu specialiștii institutului, analizîndu-se deschis ce s-a realizat pînă în prezent, care sînt sarcinile actuale ale factorilor de răspundere și ce probleme trebuie avute în vedere în viitorul apropiat.

Procedeul ni se pare demn de reținut, pe linia necesității de a se îmbina cît mai strîns preocupările și realizările cercetării și învățămîntului superior cu acelea ale industriei.

Spicuim cîteva din preocupările secțiilor de cercetare ale institutului.

În domeniul mașinilor electrice și a transformatoarelor: cercetarea și dezvoltarea de noi serii de mașini rotative de putere medie, în primul rînd motoare asincrone cu rotorul în scurt-circuit de tip general; cercetarea și dezvoltarea unor motoare electrice în construcție derivată (pentru medii chimice agresive, cu frînă înglobată etc.); cercetarea și proiectarea unor transformatoare speciale; cercetarea și proiectarea de micromașini și mașini speciale de mică putere; metodici de calcul (adaptate calculatoarelor de capacitate mică) și procedee de măsurare a unora din caracteristicile mașinilor electrice (încălzire, ventilație, pierderi suplimentare etc.), precum și ale tolelor magnetice utilizate; stabilirea unei metodologii pentru îmbunătățirea mașinilor electrice, din punctul de vedere al zgomotului și vibrațiilor.

Rezultate demne de remarcat s-au obținut în proiectarea și realizarea unor echipamente pentru reglajul sub sarcină al transformatoarelor, precum și în realizarea unor tipodimensiuni de servomotoare cu întrefier axial și rotor disc; o altă realizare o reprezintă traductoarele de poziție liniară tip inductosin.

În domeniul redresoarelor și al utilajelor de sudură, s-au cercetat și elaborat diferite surse de curent continuu, de tensiune reglabilă sau constantă pentru alimentări speciale, realizîndu-se fie ca unicate, fie ca prototipuri pentru fabricația de serie. Citățm: instalația de redresare de mare putere, pentru băi de cromare dură, putînd furniza 1 000...15 000 A; redresoarele pentru încărcarea automată a bateriilor de acumulatoare, asimilate în fabricație la I.I.S. Electrotehnica; echipamente de redresare pentru tracțiunea urbană și minieră; redresoare pentru sudura cu arc, manuală și automată, asimilate în fabricație la I.I.S. Electrotehnica.

Dintre echipamentele complexe de acționare automatizate, reamintim: echipamentul de acționare a instalației de foraj F 320—DE; echipamentele de comandă în sistem Ward-Leonard pentru instalația de foraj de mare adîncime F 500—DE și pentru platforma de foraj marin de tip autoridicător;

echipamentul electric cu tiristoare pentru acționarea troleibuzului TV 20 E; diverse standuri de probă uzinale; echipamente de excitație statică pentru hidrogeneratoare și turbogeneratoare, pentru generatoare de șoc, pentru motoare sincrone.

În domeniul aparatelor și echipamentelor de înaltă tensiune, s-a prezentat contactorul 6kV—100 A, tripolar, cu acționare electromagnetică, utilizînd ca mediu de stingere a arcului — aerul, introdus în fabricație la uzinele din Craiova; descărcătoare cu rezistență variabilă; diverse condensatoare de forță și speciale; instalații de impuls de tensiune realizate de institut; aparatură pentru măsurarea descărcărilor parțiale în izolația echipamentelor de înaltă tensiune și în cabluri ș.a.

Dintre echipamentele electrice și aparatajul de joasă tensiune, au fost reamintite: siguranțele fuzibile cu mare putere de rupere și diverse alte produse destinate protecției instalațiilor de joasă tensiune; echipamentele de comandă și protecție pentru bateriile de condensatoare destinate compensării automate a consumului de energie reactivă; diverse aparate electrocasnice și unelte electrice. O atenție deosebită s-a dat standurilor realizate de institut pentru verificarea fiabilității produselor.

S-au trecut de asemenea în revistă realizările obținute în domeniul contactelor electrice, al ceramicii electrotehnice și electronice și al materialelor destinate pentru fabricarea periilor de mașini electrice.

Utilizarea rășinilor epoxidice la realizarea izolatoarelor, la izolarea crestăturilor mașinilor electrice etc., precum și a altor rășini sintetice și materiale organice, a format obiectul unui referat aparte, ca și realizările tehnologice obținute în cercetările fizico-chimice care s-au dezvoltat în I.C.P.E.

Un timp relativ lung s-a acordat dezbaterii contribuției institutului la atestarea calității produselor electrotehnice, la climatizarea produselor industriale, destinate a funcționa în condiții climatice deosebite, precum și la elaborarea și avizarea standardelor și normelor interne electrotehnice.

Relatările privind introducerea de către I.C.P.E. a calculului electronic în cercetare, în proiectarea mașinilor și aparatelor electrice, precum și în activitatea de gestiune au fost deosebit de utile, constituind dovezi concrete despre perspectiva pe care o deschide calculatorul electronic pentru eliberarea omului de unele aspecte fastidioase ale activității lui tehnice sau economice.

Ing. *A. Bădescu*

Produse și tehnologii noi prezentate la expoziția construcțiilor de mașini

O expoziție cu un caracter aparte, o prezentare inedită, expresie a celor mai noi realizări — ultimele omologări pentru producția de serie, prototipuri sau autoutilări, a fost organizată recent la București, cu ocazia „Zilei constructorilor de mașini din R. S. România". Manifestarea a avut loc în complexul expozițional de la Casa Scînteii, pe o suprafață desfășurată de aproape 4 500 m² și a impresionat atît prin tematica deosebită, cît și prin realizarea sa artistică.

În afară de sistemul clasic de prezentare pe producători — centrale industriale și întreprinderi — expoziția din iulie a grupat cele mai noi tehnologii, produse complet noi sau modernizări, utilizări noi ale unor materiale cunoscute. Exponatele, acolo unde era cazul au fost prezentate în mișcare, în activitate.

Pentru participarea în cadrul standurilor pe centrale, condiția a fost ca exponatele — realizări recente — să nu mai fi fost prezentate la alte manifestări similare, deci aici să se afle „în premieră", iar pentru tehnologii să reprezinte un „record", cu rezultate de o eficiență deosebită.

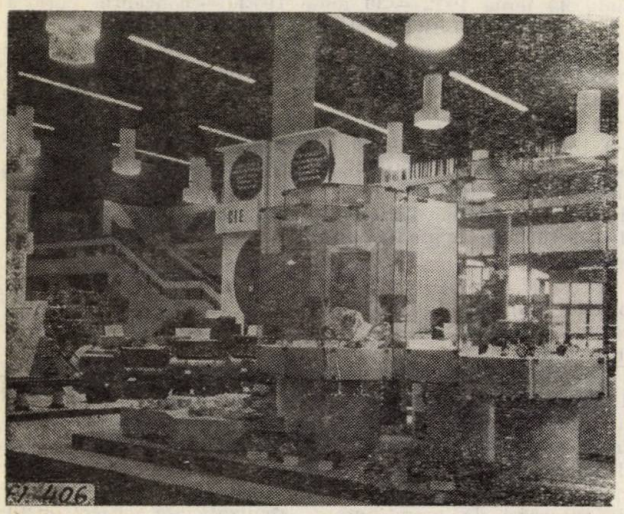


Fig. 1

Standurile tematice la care au fost prezente unitățile industriei electrotehnice au ilustrat preocupările cercetătorilor și proiectanților pentru economia de energie, pentru îmbunătățirea controlului de calitate a produselor, pentru fiabilitate.

Întreprinderea „Electroputere" din Craiova (fig. 1) a prezentat seria de 7 tipuri de transformatoare de 100—1 600 kVA care au înfășurarea din aluminiu, iar tabla este laminată la rece. Productivitatea în fabricație pentru aceste produse a crescut cu 10%, concomitent cu o economie de materiale de aproximativ 15%. Noile transformatoare au un nivel de zgomot foarte redus, la nivelul exigențelor celor mai severe norme existente pe plan mondial. Valoarea lor deosebită constă însă în comportarea în exploatare, unde realizează o scădere cu 5% în medie a pierderilor de energie.

Uzina a mai expus contactoare în aer tip CAM de 6 kW și 100 A, dispozitive pentru limitarea tensiunii în arc, întreruptoare, seria de motoare electrice trifazate MIB—2 și — 1 de 132 kW, 200 kW și respectiv 110 kW, cu 1 500 și respectiv 1 000 rot/min și altele.

O realizare remarcabilă a acestei întreprinderi, pe linia mecanizării și modernizării tehnologiilor, este linia automată de debitat tole la lungime, pentru circuitele magnetice ale transformatoarelor de forță, — agregat complex, deosebit de eficient, realizat prin autoutilare. Un alt exemplu de modernizare îl constituie linia automată de izolat cu hîrtie conductori cu două capete, a cîte patru bobinări, executată tot de întreprinderea craioveană.

La Întreprinderea „Electromotor" Timișoara au fost recent introduse în fabricația de serie 10 tipuri de motoare de construcție îmbunătățită și 14 tipuri de motoare monofazate, pentru livrări la export. În expoziție, au putut fi văzute motoare monofazate cu condensator, un motor linear, o presă hidraulică executate de uzină, cum și macheta unor mîini mecanice realizate pentru creșterea productivității și a securității muncii în procese de montaj din uzină. De altfel, la „Electromotor" Timișoara, a fost executat prin autoutilare și pus în funcțiune, pentru prima dată în țară, un stand cu medie frecvență, necesar pentru verificarea complexă a bobinajului la motoarele electrice din gabaritul 71—100, contribuind astfel la ridicarea nivelului calitativ al produselor.

Întreprinderea de mașini electrice — București a prezentat o serie de convertizoare de sudare, CS 3; 5; 125; 350; CSiPA 1, 2; de asemenea, a mai expus motoarele asincrone trifazate cu motorul în scurt circuit și frînă electromecanică tip ASFM, cu demaror de 15 CP și un motor de tramvai silențios, care asigură vehiculului o putere și viteză sporite, în condiții mai puțin zgomotoase.

Tot din Timișoara, *Întreprinderea „Electrotimiș"* a prezentat un dispozitiv de amortizare pentru mașini-unelte, un grup de pregătire a aerului comprimat FRU—1, o mașină de confecționat bobine, una de calibrat și ambutisat, o presă electromagnetică PEM—900, o ștanță de perforat — decupat, vibratorul elicoidal VE—30 și o mașină pentru strunjit colectoare, deosebit de ingenioasă.

Serii de motoare au expus și *Întreprinderea* ,,*Electroprecizia*'' — *Săcele* și anume : motoarele ASI de 2,2 ; 4 ; și 7,5 kW, cu 1 500 rot/min, precum și un set complet de echipament electric auto modernizat ; de asemenea, *Întreprinderea de motoare electrice — Pitești* a fost prezentă cu un motor tip MSI și altul tip EA de 1 kW, un motor EP de 3 kW, unul tip U2 de 0,8 kW și două motoare cu carcasă de aluminiu ASL 0,55 kW și ASI 1,1 kW, cu 1 500 rot/min.

,,*Electrobanat*'' — *Timișoara* a adus noi corpuri de iluminat fluorescent, tip FIA — 0,1 × 4 W, tip FIDA—03, tip FIRA—01, tip AV—125, tip CES—1 × 40 W, tip CES — 140 antiexploziv ; de asemenea și corpul de iluminat cu vapori de mercur tip PVB—700, farul asimetric tip FJ—130 și FD—170, lampa cu siguranță mărită tip LMS—7/101, un proiector de 1 kW, un set de corpuri de iluminat și faruri DACIA 1300.

,,*Electromureș*'' *din Tîrgu Mureș* a prezentat tipurile de mașini de calculat ,,Mureș'' 12 A și 12 M, fierul de călcat cu termoregulator și radiatoarele dreptunghiular și solar modernizate.

Întreprinderea de fabricație și montaj ascensoare — București a adus o elegantă cabină de ascensor pentru 6 persoane, cu programare confecționată din anticorodal. A fost bine apreciat noul frigider ,,Arctic'' cu o capacitate de 180 litri, produs de Întreprinderea de frigidere din Găești cu aceleași caracteristici tehnice și funcționale ca și cel precedent, dar cu un preț de cost mult redus.

O serie de condensatoare de forță, un material electroizolant nou, cu proprietăți îmbunătățite, un panou cu mostre din cele mai noi tipuri de cabluri au reprezentat *Întreprinderea de cabluri și materiale electroizolante din București*.

,,*Electroceramica*'' — *Turda* a expus un tip de izolator suport armat și altul carcasă, un izolator de trecere, unul pentru aparate electrocasnice.

De la *Întreprinderea* ,,*Acumulatorul*'' *din București*, au putut fi văzute noi baterii de autovehicule tip 12—110, 12—88, 122—45, baterie de motorete GM-45 și lampa de mină tip 410.

Întreprinderea de celule prefabricate — Băilești, una din cele mai tinere unități ale industriei electrotehnice, a expus celule cu gabarit redus, pentru 10 kV și 680 A, echipate cu întrerupătoare, care nu s-au produs pînă acum.

Rod al colaborării dintre specialiștii de la ,,Electrouzinproiect'' București Întreprinderea ,,Electroputere'' — Craiova și Institutul de cercetări și proiectări pentru industria electrotehnică din București, instalația pentru stațiile de încercări de mare putere este un agregat de mare complexitate, pus în exploatare la uzina din Craiova, iar în expoziție a fost reprezentat printr-o schemă.

Institutul de studii și proiectări tehnologice pentru uzine din industria electrotehnică și electronică — ,,*Electrouzinproiect*'' — din București a mai prezentat bare pentru curenți, clasice și ecranate și macheta unei stații de impregnare.

Un stand în întregime a aparținut *Institutului de cercetări și proiectări pentru industria electrotehnică*, (fig. 2) unde acesta ca urmare a numeroaselor cercetări finalizate în ultima perioadă, a expus o suită de realizări, printre care, de exemplu : bobinaje pentru transformatoare de putere înglobate în rășini epoxidice, comutatoare de reglaj sub sarcină a transformatoarelor de putere, condensatoare de protecție pentru locomotiva electrică sau pentru îmbunătățirea factorului de putere, diferite dispozitive de verificare fie a protecției contra ploii, fie a etanșietății carcaselor, un dinam de frînă, echipament de excitație pentru generatorul de șoc, echipament tipizat pentru baterii de condensatoare, un transformator de sudare de 300 A, un generator de impuls de 3,2 MV, traductoare de poziție tip inductoare, scule electrice de mînă.

Institutul a mai prezentat și seria de motoare electrice cu întrefier aixal și rotor disc, al căror rotor este alcătuit din mai multe straturi de conductoare lamelare ștanțate în cupru și izolate între ele prin straturi de țesătură de sticlă impregnată cu rășină epoxidică. Puterile seriei variază astfel : 180 W, 370 W, 750 W, 1 500 W și 4 000 W. În expoziție a putut fi văzută o aerotermă autoechipată cu motor de curent continuu cu întrefier axial și rotor disc ; tensiunea de alimentare este de 12 V, la o putere nominală de 85 W, 60 W și 25 W pentru 2 600 ; 3 000 și respectiv tot 3 000 rot/min — și un curent nominal de 10,5 A, 7 A și 3 A. Dimensiunile de gabarit sînt : lungimea de 70 mm și diametrul exterior 173 mm la o greutate de 1,8 kg.

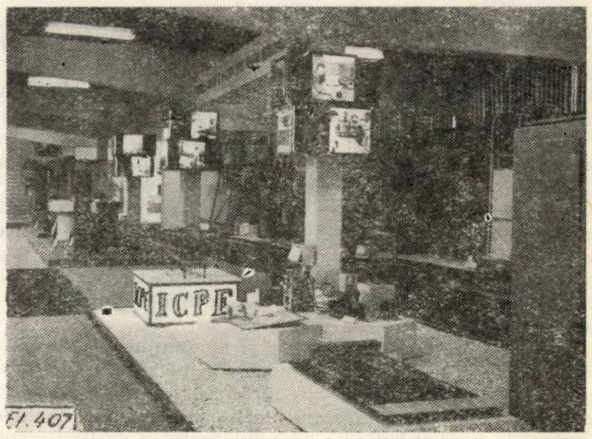


Fig. 2

Institutul a fost prezent și în standul pentru probele de fiabilitate, exponatul său fiind instalația de verificare a anduranței motoarelor asincrone trifazate.

Un stand al Oficiului de documentare și publicații tehnice a prezentat sistemul de informare asupra produselor unicat pentru autoutilare-investiții, — informare operativă asupra a peste 1 000 de mașini, utilaje și instalații, cum și sistemul de informare asupra produselor asimilate în fabricația curentă — peste 250 000 de produse cu prețuri distincte — informare realizată prin colectarea fișelor de caracteristici de la toți producătorii, bazată pe clasificarea produselor din România și difuzată prin cataloage tematice în întreaga țară. Au mai fost expuse publicațiile de prezentare a noutăților pe plan mondial, filme, diapozitive.

În concluzie, expoziția a reprezentat o imagine concisă a capacității creatoare a constructorilor de mașini din România o trecere în revistă a unor realizări cu performanțe de vîrf, premiere industriale cu caracteristici care le pun alături de cele mai bune pe plan mondial, care vor trece în curînd la producția de serie fiind deja solicitate la export.

Manifestarea a fost subliniată de concursul organizat de Ministerul Industriei Construcțiilor de Mașini Unelte și Electrotehnicii pentru cele mai bune dintre aceste valoroase realizări. Criteriile au fost destul de severe și anume : — asimilarea produsului sau tehnologiei să fi avut loc în perioada 30 iunie 1972 — 30 iunie 1973 ; — concepția care a stat la baza elaborării tehnologiei sau a construcției produsului să fie originală ; — produsul să aibă un grad de complexitate ridicat, iar tehnologia să conducă la efecte economice importante ; — caracteristicile tehnico-economice să fie competitive pe piața externă. De asemenea, la acordarea premiilor s-a ținut seama de nivelul cheltuielilor materiale necesare pentru obținerea produsului, de gradul de integrare cu materiale și piese din țară, de originalitatea soluțiilor adoptate, de valoarea și eficiența totală a producției ce se va obține, de efectul asupra productivității muncii, a consumurilor de materiale.

Premiul I a fost acordat pentru ,,mașini și echipamente pentru comanda numerică și afișarea cotei'', rol al colaborării a patru institute de cercetări și proiectări și a cinci întreprinderi.

Premiul II a revenit ,,seriei de transformatoare de 100—1 600 kVA ale Întreprinderii Electroputere'' Craiova și ,,motoarelor asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit și frînă electromecanică, tip ASFM'', realizate de Întreprinderea de mașini electrice București.

Dintre tehnologii, ,,Schema și instalațiile pentru stațiile de încercări de mare putere'' realizată de ,,Electrouzinproiect'' ,,Electroputere'' și Institutul de cercetări și proiectări pentru ind. electrotehnică a primit premiul *I*.

Încununare a eforturilor depuse, aceste premii constituie totodată stimularea în continuare a creativității și forței de muncă a constructorilor de mașini din România.

Ing. *Teodosia Oprescu*

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.313.2.015.34 :681.339.713

Răducan, I. : **Bestimmung der Impulsspannungsverteilung in Leistungstransformatoren. Anwendung der elektromagnetischen Modelle.**

Electrotehnica **21**, No 10, okt. 1973, S 373–378

Die Grundsätze der klassichenTheorien über den Einschwingsvorgang bei Spannungsimpuls in den Leistungstransformatorenwicklungen, einige mögliche Modellierungsarten, wobei das elektromagnetisches Modell (Kombinat) nähre untersucht wird, werden dargelegt. Zum Schluss werden die Ergebnisse der mittels der Modelle durchgeführten Untersuchungen über das Verhalten bei Spannungsimpuls eines Hochleistungsspartransformator bei 400 kV Spannung vorgelegt.

DK 621.313.333.2.044.5

Andrei, R. : **Der Hochgeschwindigkeitslinearasynchronmotor mit Axialkanal im Anker.**

Electrotehnica **21**, No 10, okt. 1973, S 373–384

Für das erste Mal in der Fachliteratur wird der Fall des Linearasynchronmotors mit Axialkanalanker behandelt. Die Lösung des Problems erfolgt ausgehend von den Gleichungen des elecktromagnetischen Feldes. Die gewonnenen Beziehungen für die Verteilung des Luftspaltfeldes und der Kräfte werden nachträglich vereinfacht auf Grund bestimmten Konstruktionsbetrachtungen. Schlussfolgerungen über das Verhalten des Motors bei verschieden Werte des Produktes Schlüpfung — Frecvenz, das der massgebender Faktor bei der Kennzeichnung des Skineffektes ist, werden gezogen.

DK 621.335.2.014.32 :621.3.024

Oprişor, M. und *Teodor, Gh* : **Einige Schlussfolgerungen über die elektrodynamischen Effekte auf dieaufmit Gleichstrom gespeiste Schienen angeordnete Achse.**

Electrotehnica **21**, No 10, okt. 1973, S 385–390

Unter Anwendung der Einzelanalyse des Einflusses der verschiedenen Parameter auf die Bewegung einer montierten, auf elektrisch isolierten und von einer Hochstrom — und Niederspannungsquelle gespeisten Schienen angeordnete Achse werden auf physische, besonders entworfene Modelle gewonnenen Versuchsergebnisse besprochen. Auf Grund dieser Ergebnisse wird eine neue Auslegung der Art der Erscheinungen die die Bewegung der Achse erzeugen, dargelegt. Die Art und die Bedeutung der elektrodynamischen Kräfte die an der Erzeugung der Bewegung teilnehmen sowie die Art in der diese hervorgeruft wird, werden festgestellt. Die im Laufe der Versuche beobachteten Begleiterscheinungen werden erläutert.

DK 621.352.6.016.36

Mavrodin-Tărabic, Maria, Onaca, Ioana und *Solacolu, I* : **Die elektrischen Elemente mit flüssigen Brennstoff-hochwirksame Stromquellen.**

Electrotehnica **21**, No 10, okt. 1973, S 391–395

Die Hauptarten der Elemente mit flüssigen Brennstoff werden dargestellt. Betrachtungen über die Kennzeichnungen und die Leistungen die in den Stromquellen die als Brennstoff Methanol, Hydrazin, Mono- und Plyalkohol, Ammoniak verwenden, verwirklicht wurden, sind vorgelegt.

DK 621.317.735 (498)

Antoniu, M. : **Ein im Lande verwirklichtes 5000 V — Transistormegohmmeter.**

Electrotehnica **21**, No 10, okt. 1973, 396–404

Einige mit dem Bau eines derartigen Gerät verbundene Fragen überhaupt hinisichtlich des Hochspannungsblockes und des Anschlusses der Abzweigspule des Quotientenmessers aufwärts vom Umformer, werden untersucht. Weiter wird ein 5000 V — Transistormegohmmeter mit vier Stufen für die Arbeitsspannung (500, 1000, 2500 und 5000 V), vollständig mit inländische Materiallien und Bestandteile verwirklicht, vorgelegt.

VERWIRKLICHUNGEN AUS DER INDUSTRIE 404
BUCHBESPRECHUNGEN 407
WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE EREIGNISSE 408

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.313.2.015.34 :681.339.713

Рэдукан, И. **Определение распределения импульсного напряжения в силовых трансформаторах.**

Electrotehnica **21**, No. 10, Okt 1973, стр 373–378

Излагаются вкратце основные классические теории в связи с переходным явлением при импульсе испряжения, в обмотках трансформатора и дается несколько типов возможных моделей, отмечая, главным образом, электромагнитную (комбинированную) модель. В заключение приводятся результаты исследований, проведенных при помощи моделей, для установления поведения при импульсе напряжения автотрансформатора, высокой мощности, при напряжении в 400 кв.

ДК 621.313.333.2.044.5

Андрей, Р.: **Асинхронный быстроходный линейный двигатель с осевым каналом в якоре.**

Electrotehnica **21**, No. 10, Okt 1973, стр 379–384

Рассматривается впервые в технической литературе линейный асинхронный двигатель с якорем с осевым каналом. При решении вопросса исходили из уровней электромагнитного поля. Полученные отношения для распределения поля воздушного зазора и сил были в дальнейшем упрощены на основе определенных конструктивных соображений, что облегчило оптимальное проектирование шины. Сделаны выводы относительно поведения двигателя при различных величинах произведения скольжение-частота, являющегося решающим фактором в характеристике поверхностного эффекта.

ДК 621.335.2.014.32 :621.3.024

Опришор, М. и *Теодор, Г.:* **Некоторые выводы относительно электродинамических эффектов, возникающих на оси, расположенной на шинах, питаемых постоянным током.**

Electrotehnica **21**, No. 10, Okt 1973, стр 385–390

Применяя отдельный анализ влияния различных параметров на движение смонтированной оси, расположенной на шинах с электрической изоляцией и питаемой от источника высокого тока и низкого напряжения, рассматриваются экспериментальные результаты, полученные на специально созданных физических моделях. На основе этих результатов дается новая интерпретация природы явлений, вызывающих движение оси. Установлена природаи зн ачение электродинамических сил участвующих в возникновении движения, а также и способ его генерирования. Дается объяснение сопровождающих явлений, отмеченных во время опытов.

ДК 621.352.6.016.36

Мавродин-Тэрабык, Мария, Онака, Иоана и *Солаколу, И*: **Элементы с жидким топливом — химические источники тока высокой эффективности.**

Electrotehnica **21**, No. 10, Okt 1973, стр 391–395

Представлены основные типы элементов с жидким топливом. Излагается характеристика и достигнутые показатели в источниках тока, применяющих в качестве топлива метанол, гидрозин моно и полиспирты, аммиак.

ДК 621.317.735 (498)

Антониу, М. : **Транзисторный мегометр в 5000 вольт румынского производства.**

Electrotehnica **21**, No. 10, Okt 1973, стр 396–404

Рассматриваются некоторые проблемы, связанные с конструкцией этого прибора, главным образом, в отношении блока питания высоким напряжением и присоединения ответвлённой латушки логометра в верхней части преобразователя. В продолжение описывается транзисторный логометрический мегометр в 5000 вольт с четырьям ступенями для рабочего напряжения (500, 1000, 2500 и 5000 вольт), полностью изготовленный из отечественных материалов и составны частей.

ДОСТИЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 404
РЕЦЕНЗИИ 407
НАУЧНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НОВОСТИ 409

SOMMAIRE

CD 621.313.2.015.34 :681.339.713

Răducan, I. **La détermination de la répartition de la tension d'impulsion dans les transformateurs de puissance. L'utilisation des modèles électromagnétiques.**

Electrotehnica **21**, no. 10, oct. 1973, p. 373–378

On présente sommairement les principes des théories classiques concernant le phénomène transitoire à l'impulsion de tension, dans les enroulements des transformateurs de puissance, quelques types de modélage possible, en insistant sur le modèle électromagnétique (combiné). On présente à la fin les résultats des recherches effectuées à l'aide des modèles, concernant le comportement à l'impulsion de tension, d'un auto-transformateur de grande puisance, à la tension de 400 kV.

CD 621.313.333.2.044.5

Andrei, R. : **Le moteur asynchrone linéaire de grande vitesse à canal axial dans l'inducteur.**

Electrotehnica **21**, no. 10, oct. 1973, p. 379–384

On traite, pour la première fois dans la littérature de spécialité, le cas du moteur asynchrone linéaire à inducteur à canal axial. La solution du problème est effectuée en partant des équations du champ éléctromanétique. Les relations obtenues concernant la répartition du champ dans l'entrefer et les forces sont simplifiées ultérieurement en se basant sur certaines considérations costructives, facilitant ainsi l'élaboration du projet optimum du rail. On tire des conclusions concernant le comportement du moteur à différentes valeurs du produit glissage-fréquence, qui est le facteur déterminant lors de la caractérisation de l'effet péliculaire.

CD 621.335.2.014.32 :621.3.024

Oprişor, M. et *Teodor, Gh* : **Quelques conclusions concernant les effets électrodynamiques sur l'essieu disposé sur des rails alimentés en courant continu.**

Electrotehnica **21**, no. 10, oct. 1973, p. 385–390

En utilisant l'analyse séparée de l'influence des diféerents paramètres sur le mouvement d'un essieu monté, posé sur des rails isolés du point de vue électrique et alimenté à partir d'une source de courant élevé et à tension réduite, on discute les résultats expérimentaux obtenus sur des modèles physiques spécialement conçus. Basé sur ces résultats, on présente une nouvelle interprétation de la nature des phénomènes qui produisent le mouvement de l'essieu. On établit la nature et l'importance des forces électrodynamique qui concourent à la production du mouvement, ainsi que le mode par lequel ce mouvement est généré. On explique aussi phénomènes qui ont lieu en même temps et qui ont été remarqués au curs des expériences.

CD 621.352.6.016.36

Mavrodin-Tărabic, Maria, Onaca, Ioana et *Solacolu I* : **Les piles à combustible liquide–source chimiques de courant ayant une efficience supérieure.**

Electrotehnica **21**, no. 10, oct. 1973, p. 391–395

On présente les principaux types de piles à combustible liquide. On émet certaines considérations concernant les caractéristiques et les performances réaliseés par les sources de courant qui utilisent comme combustible le méthanol la hydrazine, des mono- et polyalcools, de l'ammoniac.

CD 621.317.735 (498)

Antoniu, M : **Un megohmmètre transistorisé de 5000 V, réalisé dans notre pays.**

Electrotehnica **21**, no. 10, oct. 1973, p. 396–404

On examine quelques problèmes se rapportant à la construction d'un tel appareil, particulièrement en ce qui concerne le bloc d'alimentation en haute tension et en ce qui concerne la mise en circuit de la bobine dérivation du logomètre en amont du converteur. On présente, ensuite, un megohmmètre logométrique transistorisé de 5 000 V, à quatre paliers, pour la tension de travail (500, 1 000, 2 500 et 5 000 V) réalisé entièrement avec des matériaux et des componentes indigènes.

RÉALISATIONS DE L'INDUSTRIE 404
COMPTES–RENDUS 407
MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 409

CONTENTS

DC 621.313.2.015.34 :681.339.713

Răducan, I. : **Determination of pulse tension distribution in power transformers. Utilisation of electromagnetic models.**

Electrotehnica **21**, No 10, oct 1973 p. 373–384

The authors succinctly present the principles of the clasical theories regarding the transient phenomenon in pulse tension, in power transformer windings, describing several types of possible models and stressing the importance of the combined electromagnetic model.
The last part of the paper presents the results of the researches, achieved with models, on the behaviour of a high power autotransformer at 400 kV voltage.

DC 621.313.333.2.044.5

Andrei, R. : **High speed asynchronous motor with reciprocating movement, with axial channel armature.**

Electrotehnica **21**, No. 10, oct 1973, p. 379–384

The author studies — for the first time in specialist literature — the asynchronous motor with reciprocating movement, with axial channel armature. The solution of the problem is based on the electromagnetic field equations. The relations expressing the field distribution (armature gap and forces) can be simplified, relying on certain constructive considerations, a better designing of the bar being thus achieved. The author draws conclusions regarding the behaviour of the motor for different values of the slip-frequency, product, the main factor in characterizing the skin effect.

DC 621.335.2.014.32 :621.024

Oprişor, M. and *Teodor, Gh*: **Some conclusions regarding the electrodynamic effects on an axle located on direct current — fed bars.**

Electrotehnica **21**, No. 10, oct 1973, p. 385–390

Using a separate analysis of the influence of different parameters on the motion of a mounted axle located on electrically insulated bars fed from a high current, low voltage source, the authors discuss the experimental results obtained with physical models devised to this purpose. Relying ou these results the authors put forward a new interpretation of the nature of the phenomena which cause the axle to move. They define the nature and importance of the electrodynamic forces which concur to produce the motion and the way it is generated. The accompanying phenomena recorded during the experiments are also explained.

DC 621.352.6.016.36

Mavrodin-Tărabic, Maria, Onaca Ioana and *Solacolu, I* : **Combustion celles–highly efficient sources of current.**

Electrotehnica **21**, No. 10, oct 1973, p. 391–395

The authors present the main types of combustion cells based on lignid fuel. They study the characteristics and performances of current sources based on methanol, hydrazine, mono-and poly-alcohols, ammonia.

DC 621.317.735 (498)

Antoniu, M : **A 5000 V transistorized megohmmeter achieved in Romania.**

Electrotehnica **21**, No 10, oct 1973, p. 396–404

The author examines the problems that have to be resolved, particularly those implied by the high voltage power pack and by wiring of the branch coil of the megohmmeter, above the converter. He describes a 5 000 V transistorised radiometric megohmmeter with four working voltage steps (500, 1 000, 2 500 and 5 000 V) entirely mode of domestic materials and components.

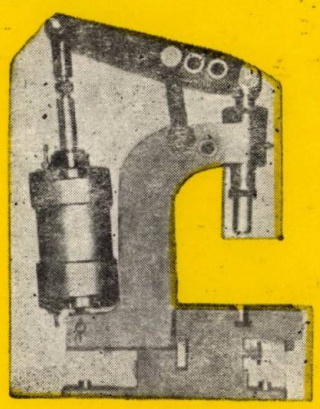
INDUSTRIAL ACHIEVEMENTS 404
BOOK REVIEW 407
SCIENTIFIC AND TECHNICAL EVENTS 409

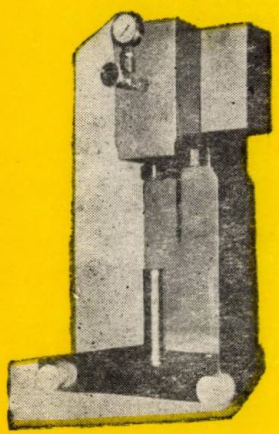
ELECTROtimiș

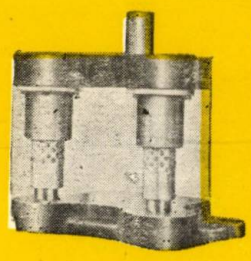
FABRICA
DE MATRIȚE, SCULE
ȘI UTILAJE
TEHNOLOGICE
PENTRU INDUSTRIA
ELECTROTEHNICĂ

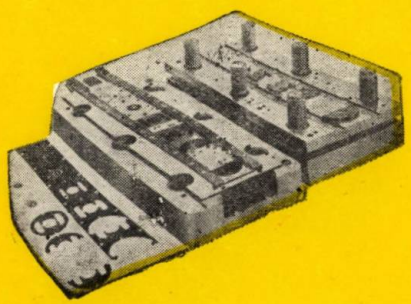
PRODUCE:

- agregate și linii tehnologice
- utilaje pentru operații de bobinaj
- utilaje pentru prelucrări mecanice
- șanduri
- prese hidraulice și pneumatice
- utilaje pentru operațiile de debitare
- utilaje pentru montaj și asamblare
- ștanțe, matrițe, cochilii







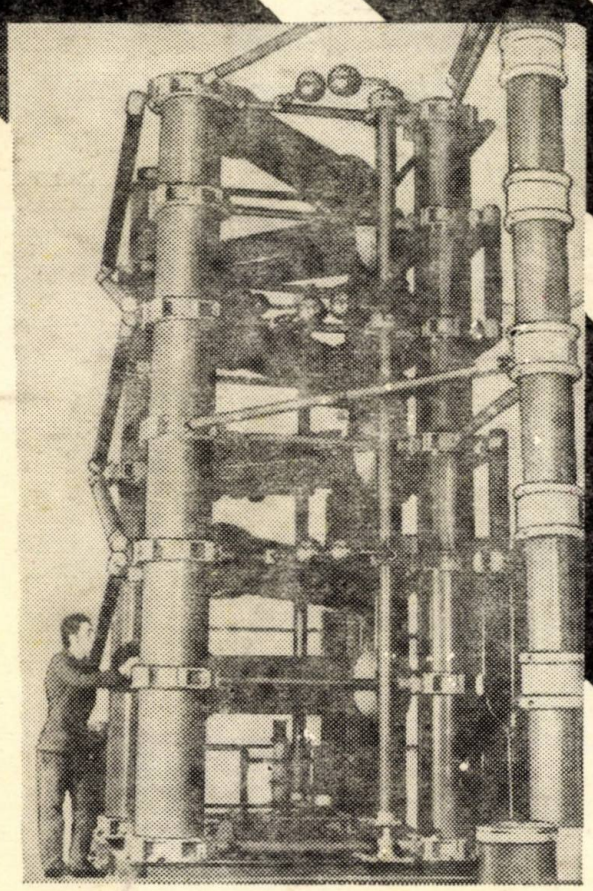


TIMIȘOARA

- Calea Buziașului nr. 15
- telefon 15820

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICA

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive.

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine.

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dv., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele?

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca p,odusele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite?

1974 FEB 07

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 de ani în activitate, care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

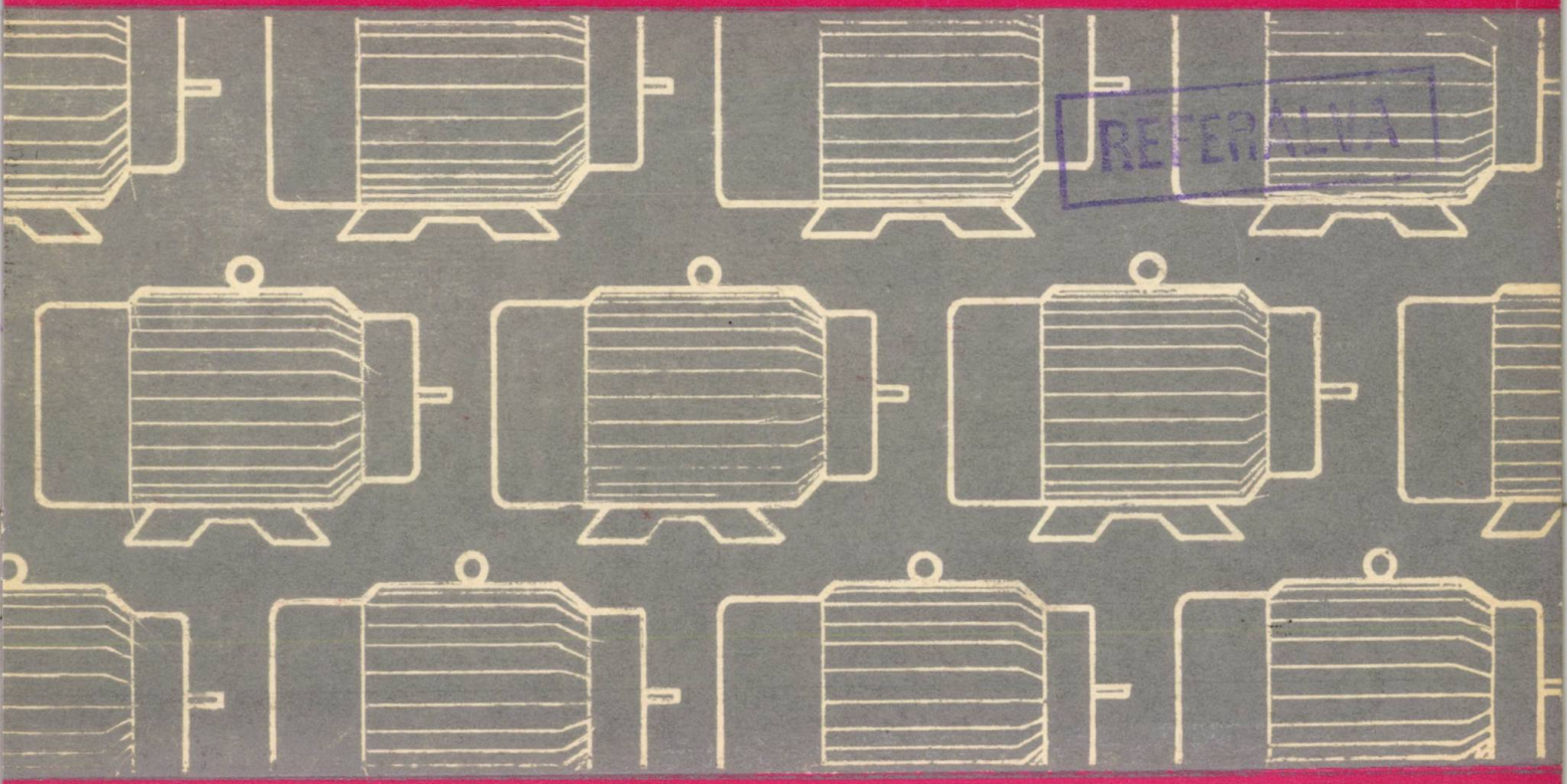
ICPE

BUCUREȘTI, — BD. T. VLADIMIRESCU 45-47 — TELEFON 31.41.00

E 2040

R

ELECTROTEHNICA



REFERATIVA

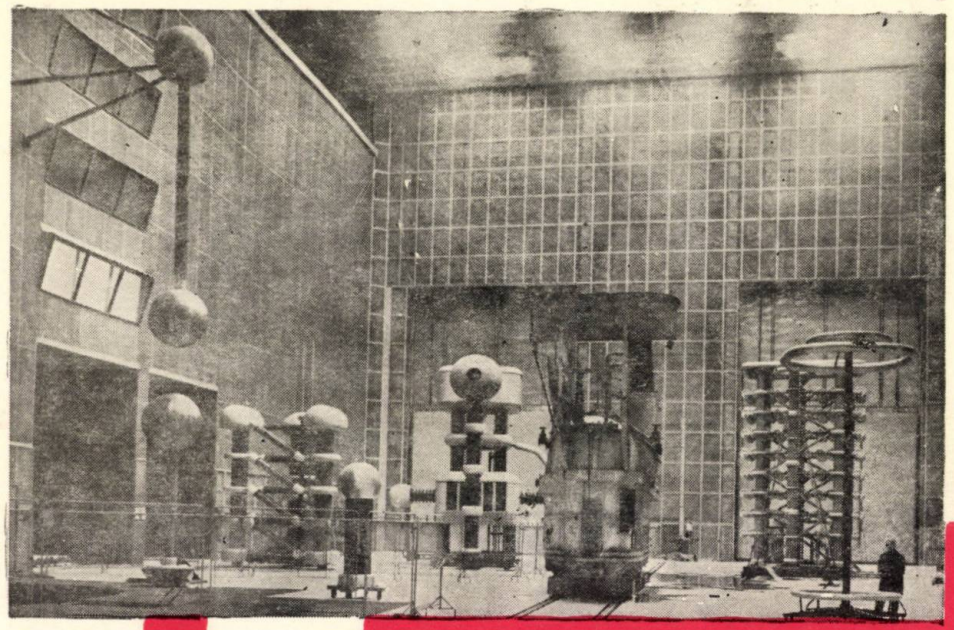
ELECTROTEHNICA ● BUCUREŞTI ● ANUL 21 ● Nr. 11 ● NOIEMBRIE 1973

11

CENTRUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE ELECTROPUTERE CRAIOVA

prin noul său

LABORATOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE



conceput şi echipat modern oferă în domeniul tehnicii tensiunilor înalte următoarele servicii:

— încercări cu tensiune aplicată în gama de frecvenţe 25—150 Hz pînă la 1200 kV;

— încercări cu tensiune aplicată în curent continuu pînă la 1000 kV, 30 mA;

— încercări cu tensiune indusă în transformatoare de putere cu frecvenţă mărită 100—150 Hz, monofazat şi trifazat;

— încercări cu supratensiuni atmosferice 1,2/50 μs pînă la 2400 kV, 192 kWs;

— încercări cu supratensiuni de comutaţie 250/2500 μs, pînă la 1800 kV;

— măsurători de descărcări parţiale şi perturbaţii radio în hală ecranată electromagnetic;

— încercări asupra izolaţiei externe sub ploaie artificială;

— ridicarea caracteristicilor de răspuns ale schemelor de măsurare de înaltă tensiune (divizoare, şunturi);

— încercări pentru caracterizarea materialelor electrotehnice;

— calculul şi modelarea fenomenelor tranzitorii în transformatoare;

— studii şi cercetări pentru dezvoltarea echipamentului electrotehnic de înaltă tensiune.

Craiova, Calea Bucureşti nr. 144; teleton 21871; telex 016228

MŰSZAKI KÖNYVTÁR

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 11, pag. 413 — 444 noiembrie 1973

CUPRINS

CZ 621.3.001.5 : 621.312

Tănăsescu Fl. : **Contribuţia cercetării tehnologice din I.C.P.E. la modernizarea producţiei**

Electrotehnica **21**, nr. 11, nov 1973, p. 413–420

Au fost prezentate succint cîteva dintre cercetările tehnologice ale ultimului an, cu convingerea că sfera lor de aplicaţie poate fi mult mai mare chiar pentru domenii diferite de cele imaginate în lucrare, aceasta depinzînd în continuare, nu de cel care a realizat echipamentul ci de imaginaţia omului din industrie, de a o extinde, de a-i creşte valoarea prin utilizări tot mai variate.

CZ 621.314.2.026.543.001.36

Licu.escu, M. şi *Cojocaru, I.* : **Soluţii noi în proiectare şi tehnologie, mijloc eficient de reducere a consumului de metal. Seria nouă de transformatoare de distribuţie 100–1600 kVA**

Electrotehnica **21**, nr. 11, nov 1973, p. 421–429

Se prezintă soluţiile noi de proiectare şi tehnolcgie introduse la noua serie de transformatoare de putere 100 — 1600 kVA, 20 kV cu înfăşurări de aluminiu şi miez din tablă laminată la rece. Se trec în revistă performanţele tehnice şi se apreciază efectul economic ce se realizează prin asimilarea noii serii de transformatoare în fabricaţie.

CZ 621.313.333.2.042.12 : 538.311

Boldea, I. : **Calculul repartiţiei cîmpului electromagnetic şi al caracteristicilor motoarelor liniare unilaterale cu indus din aluminiu pe fier.**

Electrotehnica **21**, nr. 11, nov 1973, p. 430–434

Se propune o nouă modalitate de determinare a caracteristicilor de funcţionare ale motorului liniar unilateral cu număr impar de poli de viteză redusă, prevăzut cu indus placă din aluminiu pe miez masiv.

Metoda propusă, validată experimental, este direct utilizabilă la predeterminarea caracteristicilor de funcţionare ale motoarelor rotative, sau liniare-unilaterale de viteză redusă, cu indus din aluminiu pe fier.

CZ 621.34 : 621.314.57.621.382.3

Ţopa, I. : **Arbore electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare.**

Electrotehnica **21**, nr. 11, nov 1973, p. 434–439

În lucrare se determină schema echivalentă şi ecuaţiile de funcţionare ale arborelui electric cu recuperare electromagnetică a energiei de alunecare prin utilizarea unui invertor cu tiristoare. Se deduc expresiile cuplurilor electromagnetice ale maşinilor asincrone care sînt şi maşini de echilibrare. Prin modificarea unghiului de comandă a invertorului se poate modifica continuu şi fără pierderi turaţia arborelui electric la valori constante ale cuplului static.

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE ŞI CERCETARE 440

REFERATE 442

MANIFESTĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI TEHNICE 443

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil ; dr. ing. V. BUNEA ; ing. V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLAȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU ; ing. M. OPASCHI ; ing. A. POPA ; prof. ing. CRISTINA POPESCU ; prof. ing. VL. POPOVICI ; academician prof. dr. doc șt. tehn. ing. R.RĂDULEȚ ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director : 50.23.25. Redacția : București, str. Mândinești nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 3352. *Taxele poștale plătite în cont-avans conform aprobării D.G.P. nr. 137/10078/1972*

41 400

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI-UNELTE ŞI ELECTROTEHNICII ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ÎNDRUMAREA ŞTIINŢIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 Nr. 11 Bucureşti, noiembrie 1973

Contribuţia cercetării tehnologice din I.C.P.E. la modernizarea producţiei*

FLORIN TĂNĂSESCU — Bucureşti **

CZ 621.3.001.2 : 621.312

Creşterea rolului tehnologiei ca factor de competiţie nu mai constituie astăzi pentru nici o industrie, o noutate. Este şi motivul pentru care sume uriaşe se acordă unor asemenea lucrări [1], se realizează prognoze tehnologice deosebit de complexe, se alcătuiesc şi formează modele ale sistemelor tehnologice viitoare, se fac aprecieri probabilistice ale transferurilor de tehnologii.

Însăşi noţiunea „clasică" de tehnologie cunoscută de noi în primii ani de studenţie a suferit modificări structurale, constituind astăzi după unii specialişti [2] „domeniul vast al aplicaţiilor orientate către un scop precis al ştiinţelor fizice, ştiinţelor vieţii şi ştiinţelor comportamentului". Iată dar, din prima definiţie, o extindere la întreaga activitate umană şi odată cu aceasta, la complexitatea legăturilor ce se stabilesc între factorii ce vor trebui să determine un aşa-zis „proces tehnologic".

Înţelegînd transferul de tehnologie ca un proces ce se desfăşoară în cadrul unui „spaţiu al transferurilor de tehnologie" alcătuit din componente verticale şi orizontale [3] nu voi insista în cele ce urmează decît asupra fazelor de concretizare şi dezvoltare, urmate de faza „engineering" care conduc la realizarea unui sistem tehnologic funcţional — un utilaj, un procedeu — un material. Iar ca spaţii ale transferurilor de tehnologie „voi" considera I.C.P.E.-ul şi industria electrotehnică, alegînd cîteva din cercetările sale tehnologice, care aplicate în industrie sau într-o fază înaintată de asimilare, vor permite o translare rapidă a unor noi elemente, noi date de progres, de modernizare.

Maşini electrice cu întrefier axial

Voi deschide seria acestor cîteva prezentări cu una dintre cercetările din domeniul maşinilor electrice cu întrefier axial, obiect al unor brevete de invenţii româneşti, medaliate în anul 1972 la Tîrgul internaţional de la Caen [4]—[6].

Dezvoltarea rapidă a maşinilor unelte, acţionarea vanelor sau reglajul unor procese, au impus dezvoltarea unor maşini care să dezvolte cupluri de valoare relativ ridicată, avînd o rapiditate de răspuns excelentă (constante de timp mici) pentru a putea corespunde unor pretenţii ale automatizărilor moderne. Aşa au apărut primele brevete franţuzeşti ale rotorului plat, care spre deosebire de maşinile clasice era de forma unui disc izolant pe care erau aplicate — la început prin tehnica circuitelor imprimate — înfăşurările. În rest, un sistem inductor magnetic, sistemul de portperii şi cutia de borne. Atît de dificilă a fost însă problema asimilării tehnologice, încît francezii au cedat brevetele lor SUA, cumpărînd apoi ca licenţă modul de a fabrica aceste motoare al căror preţ este astăzi de ordinul zecilor de mii lei şi cu o constantă creştere. Preţul este în întregime justificat dacă se ţine seama de performanţele pe care le oferă : viteze de răspuns ridicate, condiţii bune de răcire a rotorului, ceea ce permite utilizarea unor densităţi de curent ridicate, randament înalt, gabarite şi număr de piese redus, consum mic de cupru şi metal faţă de o maşină clasică de putere echivalentă, ceea ce în anii viitori va fi o chestiune decisivă în alegerea unei soluţii.

După o tehnologie proprie, după brevetele noastre, în I.C.P.E. s-au realizat motoare cu întrefier axial de putere 80 W, motor folosit ca aerotermă auto — primele rezultate din exploatare sînt excelente — şi seria 180—750—1500—2200—4000—5500 W ca motoare pentru acţionarea avansului la maşinile unelte (un tip de 750 W utilizat pentru acţionarea vanelor este în fabricaţie la Electrotehnica, întreprindere care a manifestat un interes continuu pentru această tehnică). Spre deosebire de alte construcţii, rotoarele realizate după tehnologia

* Lucrare prezentată la consfătuirea „Accelerarea ritmului de diversificare şi modernizare a producţiei", Bucureşti, 25.06.1973.

** Dr. ing. *Florin Tănăsescu* este director la Institutul de cercetare şi proiectare pentru industria electrotehnică — I.C.P.E. — Bucureşti.

I.C.P.E. se obţin prin stanţare, prin aceeaşi operaţie obţinîndu-se şi un colector — lamele de lăţime mai groasă — ceea ce îi conferă o fiabilitate ridicată (figura 1 şi 2). Maşina are o

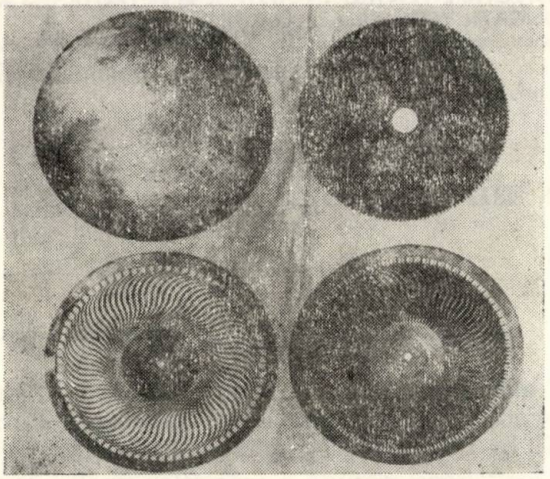


Fig. 1. Proces tehnologic : decupare placă rotor

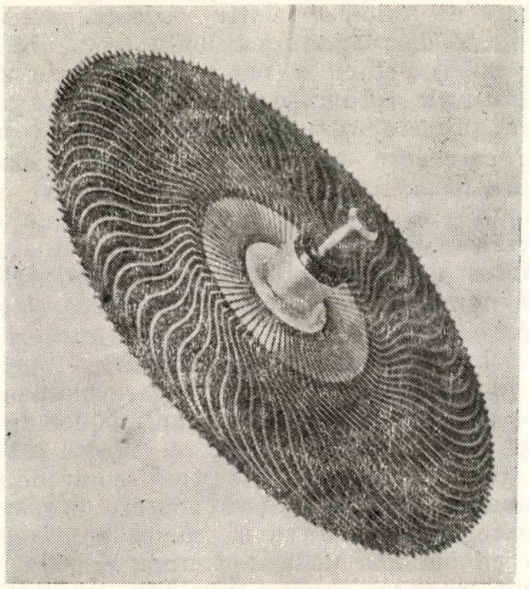


Fig. 2. Rotor cu colector, obţinut prin stanţare

simplitate deosebită ; indusul este rotorul disc ; inductorul este format din două paliere — juguri — pe care sînt fixaţi magneţii permanenţi (pe un singur palier la circuitele magnetice nesimetrice, pe amîndouă la cele simetrice); carcasa — distanţor între paliere, care asigură întrefierul necesar (figura 3).

Dintre elementele tehnologice de mare fineţe, aplicate, cîteva merită a fi menţionate :

— realizarea prin stanţare a rotorului şi colectorului utilizînd matriţe cu poansoane de profil complicat şi grosimi reduse, cu poziţionare de mare precizie, aşa cum rezultă şi din figura 4 :

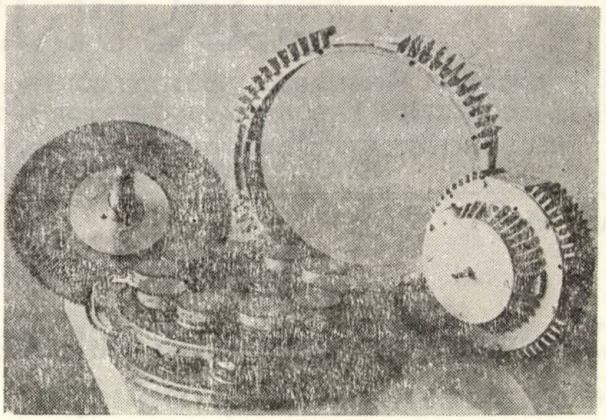


Fig. 3. Componente ale unei maşini electrice cu întrefier axial

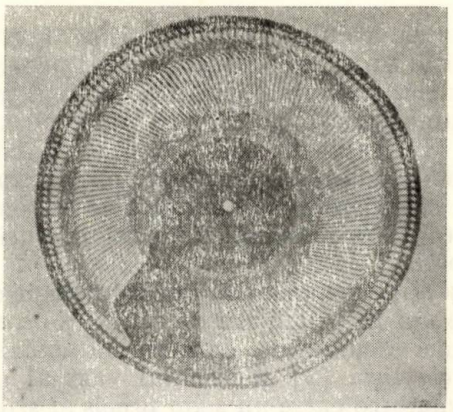


Fig. 4. Tehnologia de stanţare cu poanson cu profil în evolventă

— consolidarea şi planarea discului stanţat cu ţesătura de sticlă ce constituie suportul, pe principiul placatelor, utilizînd amestecuri de răşini, în tehnologii concepute în I.C.P.E. (figura 5, 6) ;

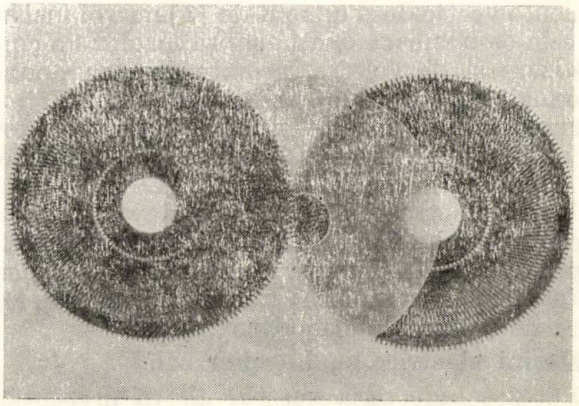


Fig. 5. Pregătirea sandwisch-ului, parte metalică-ţesătură sticlă

— conectarea capetelor conductoare a discurilor de pe feţele opuse, printr-o sudură specială, în care scop s-a realizat şi echipamentul tehnologic aferent (figura 7, 8) ;

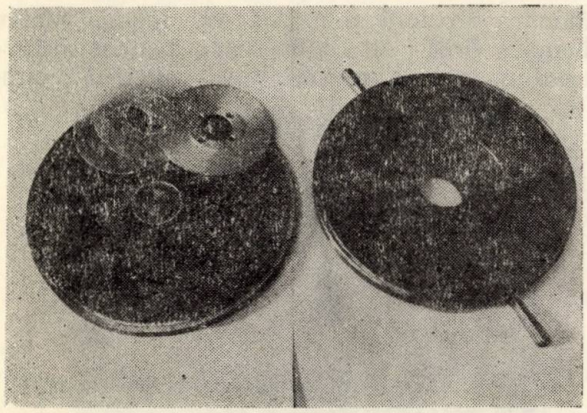


Fig. 6. Planarea şi flanşarea rotorului

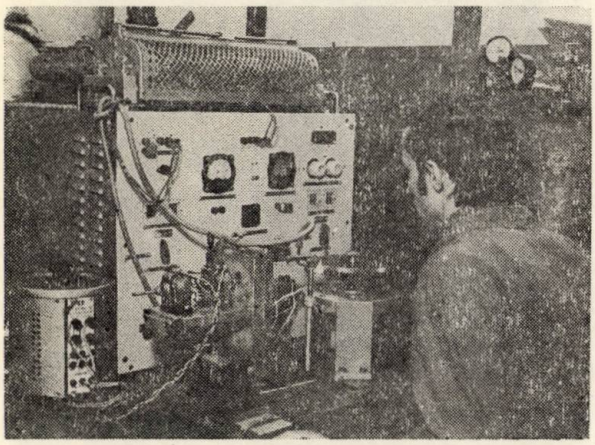


Fig. 7. Instalaţie de sudură a capetelor de înfăşurare

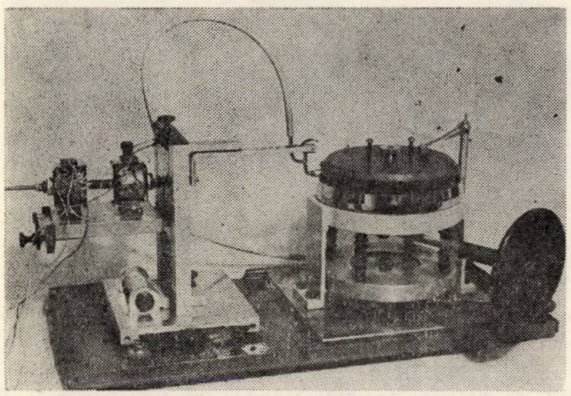


Fig. 8. Idem, detaliu „cap sudură"

— în sfîrşit, tehnologia de magnetizare, inclusiv realizarea unor magnetizoare în impulsuri. Este o cercetare tehnologică de prestigiu, ajunsă astăzi la graniţa unei finalizări industriale şi la a cărei rezolvare a participat un număr ridicat de discipline ştiinţifice existente în I.C.P.E. (tehnologie, construcţii de maşini electrice, chimie etc.), dar şi din alte institute cu care s-a colaborat.

Performanţele pe care le oferă ne fac să ne gîndim la extinderea unor domenii de aplicaţii, cele ale tracţiunii sau bunurilor de larg consum pentru care deja imaginăm o serie de construcţii.

Materiale pulverulente pentru izolaţia de crestătură a maşinilor electrice

În acelaşi domeniu al maşinilor electrice — de data aceasta însă a celor clasice — aş dori să mă refer foarte succint la o nouă tehnologie — aceea de obţinere a materialelor pulverulente — pentru care s-a realizat şi un pilot [7] care va satisface parte din necesarul de prafuri, utilizate de UEPS şi FMEP, dar a cărei sferă de aplicaţii poate fi infinit mai mare.

Înlocuirea izolaţiei clasice pe bază de preşpan sau folii, printr-o peliculă de material izolant care se aplică direct pe pachetul de tole (figura 9), în crestătură sau pe suprafeţele frontale ale

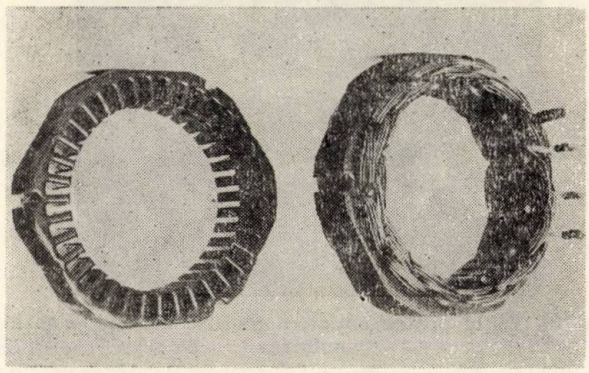


Fig. 9. Pachet de tole, izolat cu pelicule de material izolant obţinut din depuneri de pulberi

miezului magnetic, constituie un pas important în domeniul stabilirii unor tehnologii moderne de mare eficienţă economică.

Soluţia cea mai modernă adoptată în prezent este aceea a aplicării unui strat izolant dintr-o pulbere pe bază de răşini sintetice care prin topire şi polimerizare să adere perfect la profilul piesei care urmează a fi izolată. Răşinile epoxidice s-au dovedit a fi din acest punct de vedere cele mai adecvate materiale pentru realizarea pulberilor electroizolante, ele prezentînd următoarele proprietăţi : aderenţă superioară, rezistenţă chimică la o gamă largă de agenţi, proprietăţi dielectrice superioare, ignifuge, proprietăţi bune de acoperire datorită contracţiei reduse în timpul polimerizării. Compoziţia materialului realizat este pe bază de răşini epoxidice solide (Dinox 110L, Dinox 200), făină de cuarţ ca material de umplutură, aerosil ca agent tixotropic (pentru îmbunătăţirea gradului de acoperire al muchiilor), oxid roşu de fier ca pigment, diciandiamida ca agent de întărire.

Procesul tehnologic constă în mare în următoarele :

— după dozare, răşina epoxidică şi flexibilizatorul se aduc pe valţul încălzit la temperatura de 130—160°C, se topesc, adăugîndu-se apoi

materialul de umplutură, agentul tixotropic, pigmentul (figura 10) ;

— după omogenizare în cca. 10—15′ se adaugă întăritorul şi se menţine încă 25 minute pînă la atingerea reticulării. Masa vîscoasă este scoasă de pe valţ şi se răceşte la temperatura ambiantă;

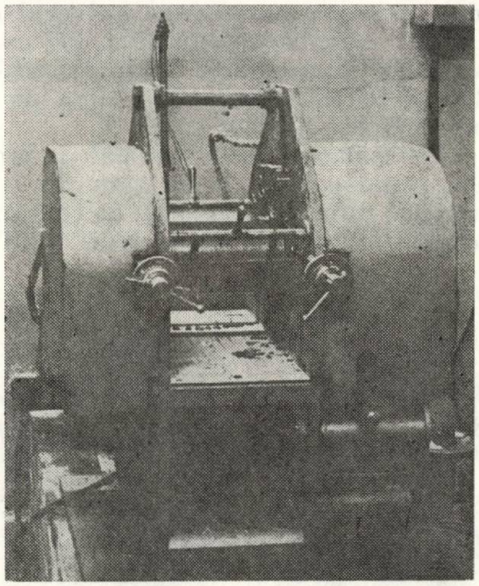


Fig. 10. Valţul pentru obţinerea plăcilor din care se obţine pulberea

— în continuare urmează o concasare (în utilajul din figura 11), o măcinare, materialul pulverulent adunîndu-se la partea de jos a

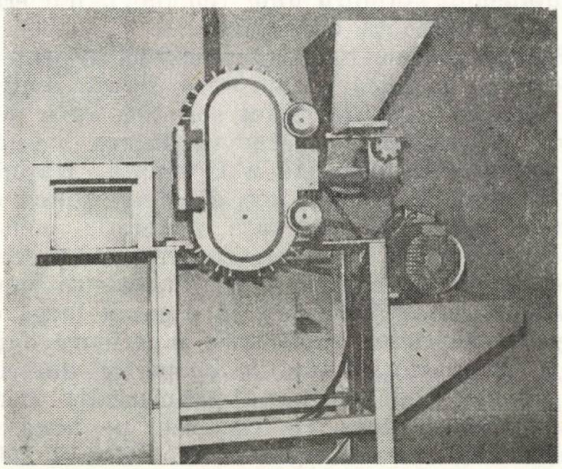


Fig. 11. Concasorul

unui ciclon (figura 12). Aspectul materialului între etapa valţ şi cea finală este cel dat în figura 13.

În afara reţetei materialului s-a realizat şi un pilot de capacitate 5 t ce poate fi extins însă, compus din : valţul cu role încălzite pentru omogenizarea compoziţiei şi declanşarea reacţiei de polimerizare ; concasorul cu fălci pentru măcinare grosieră şi moară cu ciocane pentru măcinare fină ; site vibratoare pentru sortare granulometrică a materialului măcinat ; cup-

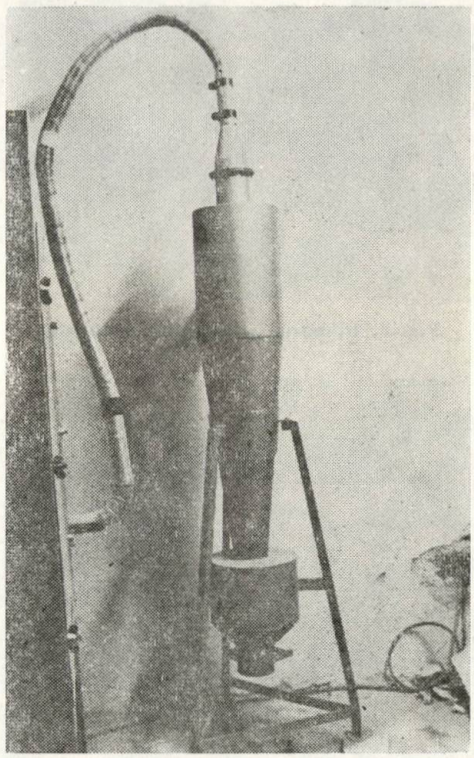


Fig. 12. Ciclon

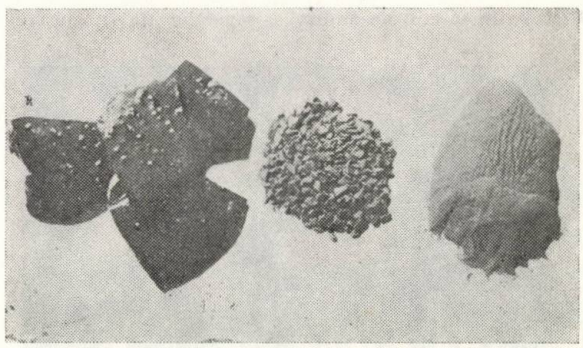


Fig. 13. Etape ale procesului de prelucrare de la plăcile obţinute în valţ la praful obţinut prin măcinare

toare şi etuve pentru uscări şi preîncălziri de materiale ; aparate de măsură şi control a diverselor faze ale procesului tehnologic.

Tehnologia concepută este relativ simplă, concentrînd activităţi distincte de pregătire a materiilor prime, amestecare, concasare şi măcinare, sortare granulometrică.

Primele încercări de depunere a materialelor pulverulente efectuate pe loturi de motoare din fabricaţia FMEP şi UEPS au dat rezultate similare prafurilor străine. Peliculele obţinute sînt de bună calitate, iar procedeul în sine se pretează la o bună automatizare a procesului.

Cercetările tehnologice desfăşurate în domeniul realizării pulberilor izolante vor fi desfă-

şurate în paralel cu dezvoltarea şi a unor agregate de depunere, în special bazate pe principiul electrostatic.

De asemenea, pornind de la experienţa altor constructori, deja se intuieşte ideea depunerii peliculelor din materiale pulverulente, ca pelicule de protecţie a suprafeţelor metalice contra mediilor şi agenţilor agresivi, care ar simplifica, în cazul unor reuşite, multe probleme legate de adaptarea unui produs la condiţiile diferite de climă.

Conductori electrici de mare rezistenţă tip ALCORO

Necesitatea de a realiza conductori electrici de mare rezistenţă, pentru modernizarea liniilor electrice aeriene a impus dezvoltarea la I.C.P.E. a unor cercetări tehnologice legate de obţinerea unor aliaje din aluminiu. Încă de la primele începuturi ale folosirii aluminiului în transportul energiei electrice, a apărut ca o necesitate îmbunătăţirea rezistenţei mecanice, concretizată şi astăzi pe două direcţii actuale : combinarea aluminiului cu oţelul şi utilizarea aliajelor de aluminiu. Mai recent aceste două tendinţe s-au reunit, în condiţiile unor cerinţe deosebite din punct de vedere al proprietăţilor mecanice, în realizarea, de exemplu, a cablurilor oţel-aliaj de aluminiu.

Cercetările efectuate de secţiile de materiale din I.C.P.E. în colaborare cu I.M.N.R., I.P.B. şi I.S.P.E. ca institute de specialitate, au permis stabilirea compoziţiei optime a aliajului [8].

O particularitate a aliajelor de aluminiu utilizate în electrotehnică o constituie necesitatea, ca procesul de aliere şi tratament termic pentru creşterea rezistenţei mecanice, să fie astfel condus încît conductibilitatea electrică să nu fie afectată decît într-o măsură foarte mică.

În urma cercetărilor de laborator efectuate, s-a ajuns la concluzia că durificarea structurală prin obţinerea unor soluţii solide suprasaturate în stare de echilibru metastabil, capabile să se descompună ulterior prin precipitarea fazelor intermetalice la un înalt grad de dispersie, se poate realiza prin alierea cu magneziu şi siliciu. Aliajul care a corespuns din punct de vedere al proprietăţilor mecanice şi electrice, a fost Mg 0,55—0,52 %, Si 0,40—0,42 %, Fe 0,25—0,3 % în rest aluminiu şi a fost realizat la Uzina de alumină Slatina pe o instalaţie de turnare continuă de tip PROPERZI. Sîrma de Ø 9,5 mm din aliaj de aluminiu ALCORO produsă pe instalaţia de turnare continuă, a fost supusă unui tratament termic de recoacere la temperatura 300—350°C timp de o oră. După tratamentul de recoacere, sîrma este supusă procesului de prelucrare termomecanică (trefilare şi tratamente termice). O problemă deosebită a constituit-o intercalarea operaţiilor de tratament termic, astfel încît să se poată obţină atît proprietăţi electrice şi mecanice optime, dar şi respectarea unui flux tehnologic. Trefilarea sîrmei de Ø 95 s-a efectuat în cadrul uzinei METROM-Braşov şi anume la un diametru intermediar, care este egal cu 2,5 × diametrul final. În acest diametru intermediar sîrma, este supusă la un tratament de „punere în soluţie" la o temperatură de 550°C ± 10°C timp de o jumătate de oră. După tratament sîrma este răcită brusc în apă. Se trefilează la diametrul final cerut (în cazul comenzii MEE s-au cerut sîrme cu următoarele diametre : Ø 2,25 mm, Ø 2,5 mm, Ø 3,2 mm) ; după terminarea trefilării sîrma este supusă unui tratament termic de revenire, restaurare la o temperatură de 100—165°C timp de 1—5 ore.

Experienţa colectivului ne-a condus la concluzia necesităţii tratamentului termomecanic, prin aceasta faza Mg_2Si dispersînd fin la limita grăunţelor de aluminiu şi influenţînd caracteristicile electromecanice.

În tabela 1 sînt prezentate comparativ caracteristicile mecanice şi electrice ale sîrmei de ALCORO obţinute şi ale sîrmei de aluminiu, observîndu-se valorile ridicate ale eforturilor mecanice ale alcoro-ului faţă de aluminiu, la o variaţie redusă a rezistivităţii.

Tabela 1

Caracteristici ale unor sîrme

	kg/mm²	μΩ cm
Sîrmă de alcoro	30—35	maxim 3,28
Sîrmă de aluminiu	16—18	maxim 2,824

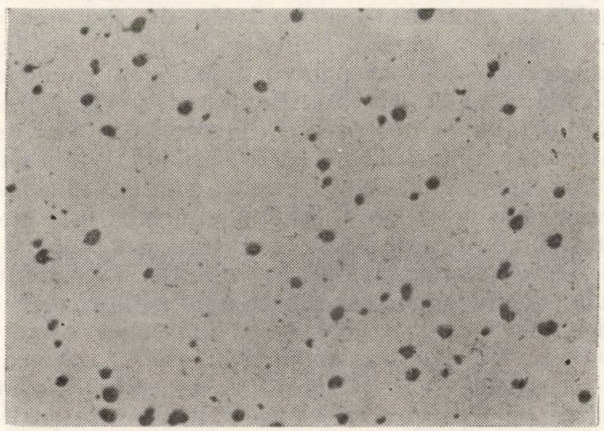


Fig. 14. Dispunerea fazei de Mg_2Si în jurul grăunţilor de aluminiu

În cadrul Fabricii de radiatoare şi cabluri Braşov (FRC), s-a efectuat operaţia de cablare a sîrmelor obţinîndu-se funii din aliaj de alcoro cu secţiunea de 240 mm² şi 95 mm² şi cabluri din alcoro oţel cu secţiunile 240/50 mm² şi 95/50 mm².

Calităţile mecanice şi electrice ale firelor şi ale cablurilor realizate sînt comparabile cu pro-

dusele similare folosite pe plan mondial, cu conductoarele realizate punîndu-se în funcţiune o linie electrică aeriană de 40 km.

Se prevede de I.S.P.E. că datorită rezistenţei mecanice sporite pe care o posedă asemenea conductoare, distanţa între stîlpii de susţinere va putea fi mărită cu cel puţin 50 %, iar costul liniilor montate poate fi redus cu peste 40.000 lei/km.

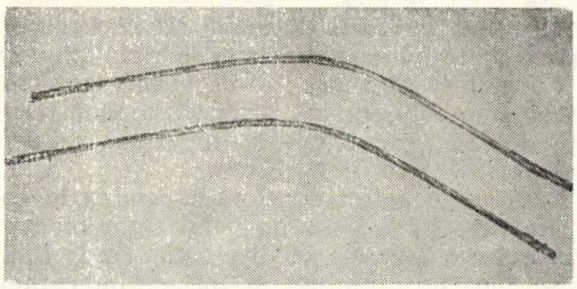


Fig. 15. Cabluri din ALCORO de secţiune 240 mm², din 16 fire de diametru ⌀2,5 mm, din lotul livrat pentru linia electrică Jimbolia-Cărpiniş

Tehnologie şi echipament de deformare rapidă în cîmp electromagnetic

În domeniul tehnologiilor neconvenţionale se constată pe scară mondială preocupări tot mai susţinute pentru realizarea unor echipamente care să execute lucrări care prin procedeele clasice s-ar fi făcut în mod neeconomic. În aceste categorii de probleme se înscrie şi procedeul de deformare rapidă în cîmp electromagnetic. Dezvoltate iniţial în domenii de aplicaţie specială — industria aerospaţială şi tehnica militară — procedeele de deformare cu viteze şi energii ridicate îşi găsesc astăzi largi aplicaţii atît pentru piesele cu simetrie axială, cît şi la cele fără. Pentru piesele cu simetrie axială, se pot realiza diverse asamblări de elemente metalice, sau metal-izolant, prinderea unor inele metalice sau capace pe obiecte ceramice (gen siguranţe fuzibile), aducerea la o dimensiune determinată (reducere sau mărire) a diametrelor tuburilor, asamblarea unor mufe din cauciuc sau mase plastice pe corpuri metalice, furnituri de cauciuc pe ţevi metalice, schimbătoare de căldură, prinderea capului conic al proiectilelor de ţeava metalică. În cazul pieselor fără simetrie, procedeul amintit permite realizarea unor ambutisări de mare precizie şi productivitate, diverse stantări sau imprimări. În figura 16 se dau cîteva exemple de asamblări utilizînd procedeul de deformare electromagnetică.

Pornind tocmai de la această gamă largă de utilizări — dintre care peste 80 % sînt în domeniul montajului şi asamblării — s-a realizat în institut o instalaţie de deformare electromagnetică, realizată în primă etapă ca idee şi instalaţie experimentală în cadrul unei teze de doctorat [9], dezvoltată şi industrializată apoi într-o concepţie proprie de I.C.P.E. [10—11].

În principiu o instalaţie de formare electromagnetică are următoarele elemente componente : o baterie de condensatoare C, care se încarcă cu ajutorul unui redresor la o tensiune U, corespunzînd unui nivel determinat de energie, funcţie de regimul de lucru şi dat de relaţia cunoscută $W = CU^2/2$. (fig. 17). În general tensiunea de încărcare a bateriei este de 5—10 kV, energia înmagazinată în condensatoare fiind cuprinsă în gama 2—80 kJ. Descărcarea bateriei se face cu ajutorul unui eclator sau ignitron pe o bobină de formare 1, obţinîndu-se un regim de descărcare oscilant amortizat. Cîmpul magnetic produs de bobina 1 induce în piesa de prelucrat 3 curenţi turbionari, care în interacţiune cu prima favorizează apariţia unor forţe de repulsie. Atunci cînd eforturile unitare depăşesc limita de curgere a materialului ce trebuie prelucrat, acesta se deformează plastic. Introducerea în bobina 1 şi piesa de prelucrat 3 a unor piese de formă specială — aşa-zisul concentrator 2 — permite obţinerea unor cîmpuri puternice în acele zone în care se doreşte obţinerea unor anumite deformări pe piesa supusă prelucrării, prin concentrarea adecvată a cîmpului şi deci a forţelor active, forţe Lorentz ce acţionează asupra unităţii de volum, radial spre interiorul piesei.

Iată deci ca o primă concluzie, posibilitatea de obţinere a unei deformări fără contact metalic, fără fluide, ci numai prin efectul forţelor active care acţionează asupra piesei de prelucrat.

Instalaţia realizată de noi şi dată în figurile 18 şi 19, are următorii parametri :

— energia nominală înmagazinată, 9,7 kJ ;

— tensiunea de alimentare a bateriei de condensatoare, 9 kV ;

— capacitatea bateriei, 240 $\mu F \pm 10\%$;

— cadenţa maximă, 6 operaţii/min la energia nominală ;

— comandă manuală sau automată.

Instalaţia se poate adapta pentru utilizări speciale, atît ca regimuri de lucru, cît şi ca seturi de dispozitive de compresiune.

Experimentările efectuate ne-au permis a trage unele concluzii privind caracteristicile specifice :

— cîmpul electromagnetic trecînd prin materiale izolante, se pot deforma bine metalele chiar prin învelişuri nemetalice ;

— presiunea exercitată de cîmpul electromagnetic este uniformă şi aproape independentă de distanţa de la piesă la bobină, neapărînd în piesă cuplurile întîlnite la laminare sau druckband ;

— deformarea se face fără contact mecanic ;

— valoarea presiunii de lucru poate fi riguros controlată prin procedee electrice ;

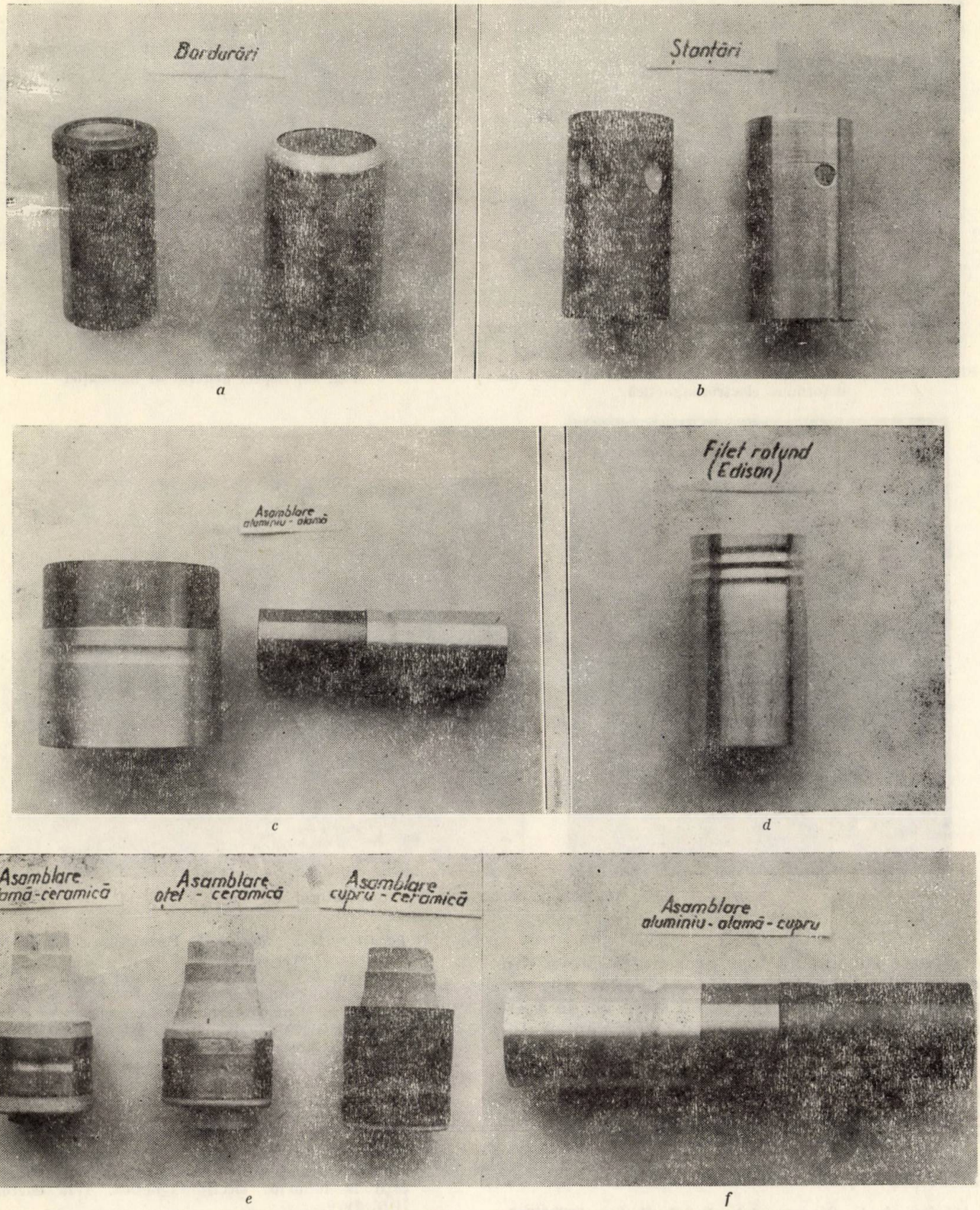


Fig. 16. Diverse asamblări utilizînd procedeul de deformare electromagnetică

— dispozitivul de formare şi sursa de energie pot fi separate prin cablu ceea ce creează posibilitatea de dispunere în orice linii de fabricaţie, sau incinte cu noxe (industria chimică, tehnica nucleară etc.) ;

— instalaţia realizată permite intercalarea într-un proces automatizat, tactul său fiind rapid dat de constanta de timp a circuitului de încărcare-descărcare.

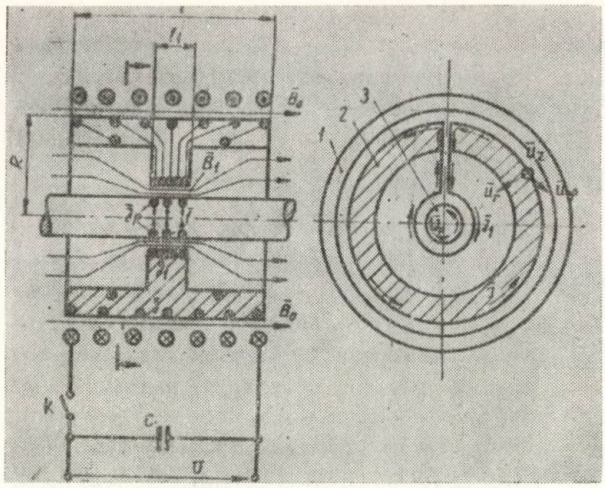


Fig. 17. Schema electrică de principiu a unei instalaţii de deformare electromagnetică

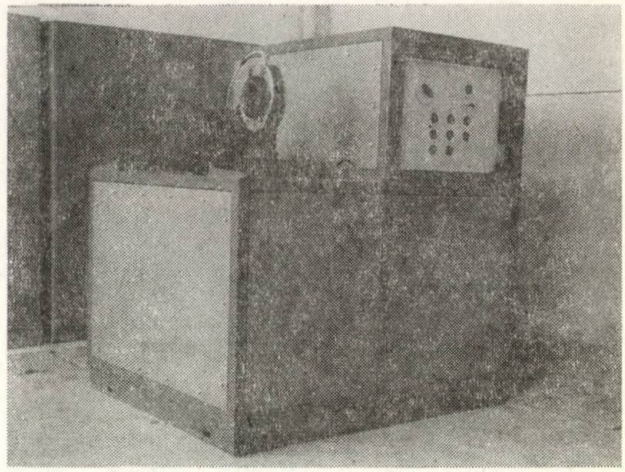
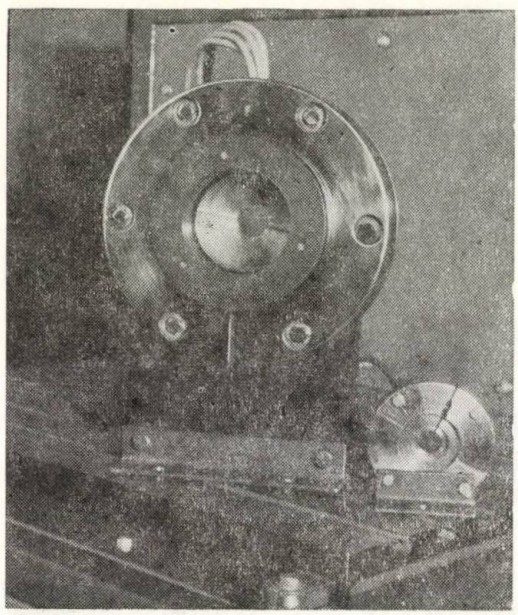


Fig. 18. Aspect general al instalaţiei



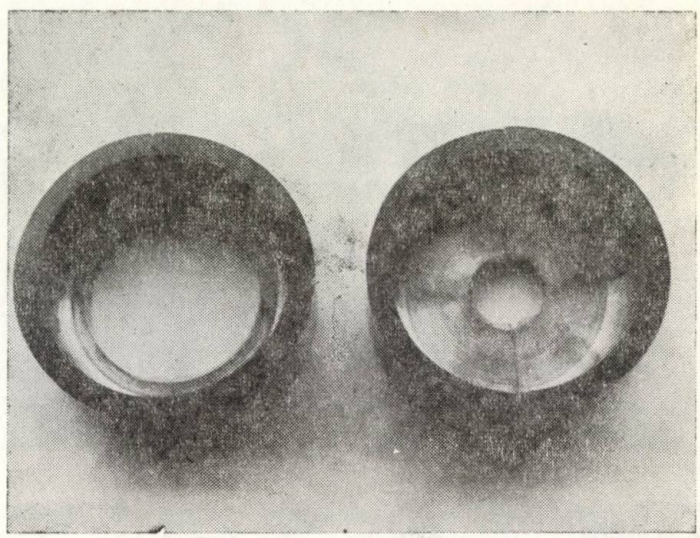


Fig. 19. Bobina de formare şi concentratorul

* * *

Foarte succint au fost prezentate cîteva din cercetările tehnologice ale ultimului an, cu convingerea noastră fermă că sfera lor de aplicaţie poate fi mult mai mare, chiar pentru domenii diferite decît cele pe care le-am imaginat, aceasta depinzînd din acest moment nu de cel ce a realizat echipamentul, ci de imaginaţia omului de industrie, care să o extindă, să-i crească valoarea prin utilizări tot mai variate.

Bibliografie

[1] *Iantsch, E.* Prognoza tehnologică. Editura Ştiinţifică, 1972.

[2] *De Solla Price.* Little Science, Big Science. Columbia Paperbach Ed. 1965.

[3] *Brooks, H.* Science and Cultura — A study of Coesive and Disjunctive Forces. Daedalus Library vol. 4, Mass. 1965.

[4] *Lazaroiu, D. F., Slaiher, S.* Rotor disc cu conductoare lamelare. Brevet nr. 53969.

[5] *Lazaroiu, D. F., Slaiher, S.* Maşini electrice de mică putere. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1973.

[6] *Slaiher, S.* Micromotoare electrice, construcţia şi utilizarea lor. MICM, ODPT, Bucureşti, 1972.

[7] *Stroe, E., Stroe, C.* ş.a. Materiale pulverulente pentru izolarea pachetelor de tole. Document intern ICPE, 1972.

[8] *Cruceru, C., Alexandru, M.* Asimilarea conductorilor electrici din aliaje de aluminiu tip ALCORO pentru LEA. Documentaţie internă ICPE, 1971—1972.

[9] *Flueraş, C.* Cîmpul şi acţiunile ponderomotoare ale prizelor de curent şi de flux magnetic cuasistaţionar. Aplicaţii la formarea electromagnetică. Teză doctorat, IPB, 1970.

[10] *Barca, Cr., Şerbănescu, M.* Instalaţie de formare rapidă în cîmp electromagnetic. Doc. internă ICPE, 1972.

[11] *Şerbănescu, M.* Dispozitiv pentru concentrarea cîmpului magnetic rapid variabil în timp. Brevet RSR nr. 54949, 1973.

Intrat în redacţie la 7.VII.1973

Soluţii noi în proiectare şi tehnologie, mijloc eficace de reducere a consumului de metal. Seria nouă de transformatoare de distribuţie 100—1600 kVA

MIHAI LICULESCU şi IANCU COJOCARU* — Craiova

CZ 621.314.2.026.543.001.36

1. Generalităţi

Dezvoltarea continuă a sistemului energetic naţional şi creşterea rapidă a puterii instalate au impus mărirea substanţială a capacităţii de fabricaţie, modernizarea şi îmbunătăţirea performanţelor tehnico-economice ale fabricaţiei transformatoarelor de distribuţie. Prin studii, experimentări şi calcule s-au găsit soluţii noi de proiectare şi tehnologie care s-au aplicat la seria nouă a transformatoarelor de distribuţie 100—1600 kVA.

Dimensionarea seriei noi s-a făcut pe baza unui calcul tehnico-economic în care s-a avut în vedere obţinerea optimului economic în condiţiile de preţuri practicate în ţara noastră pentru materialele active şi constructive ce intră în construcţia transformatoarelor precum şi energia electrică. Astfel s-a urmărit obţinerea de performanţe ridicate (nivel scăzut de pierderi în miezuri şi înfăşurări) concomitent cu un consum minimal de metal în miezuri şi înfăşurări. Pentru reducerea consumului de metal au fost studiate şi reproiectate şi celelalte elemente constructive (schele, sisteme de strîngere, cuve).

În scopul obţinerii unor performanţe superioare au fost adoptate soluţii care să satisfacă următoarele deziderate :

— obţinerea unor construcţii cu nivele de pierderi mici, comparabile cu cele ale unor firme străine şi care să corespundă unui optim economic atît din punct de vedere al costurilor fabricaţiei cît şi din punct de vedere al costurilor exploatării ;

— asigurarea unei bune funcţionări în exploatare a transformatoarelor, care trebuie să fie rezistente la eforturile dinamice de scurtcircuit şi la tensiuni de impuls, respectiv elaborarea de soluţii pentru transformatoare cu fiabilitate ridicată ;

— simplificarea la maximum a fabricaţiei prin unificarea construcţiilor pe variante de puteri şi tensiuni, cu înalt grad de tipizare constructivă şi tehnologică a fabricaţiei, în scopul obţinerii unei productivităţi ridicate ;

— reducerea dimensiunilor de gabarit, reducerea greutăţilor, a consumului de metal, şi în special a consumului de materiale active (tablă silicioasă şi conductor de bobinaj) prin dimensionarea echilibrată a circuitelor active şi cît mai aproape de valorile limită pentru încălziri admise de standarde.

2. Soluţii noi în proiectare şi tehnologie. Caracteristici tehnice

A. Miezurile magnetice

În decursul ultimului deceniu s-a trecut de la folosirea tablei silicioase laminate la cald la folosirea exclusivă a tablei silicioase laminată la rece cu cristale orientate şi cu nivel de pierderi mult mai scăzut, fapt care a permis şi impus reconsiderarea atît a soluţiilor de proiectare cît şi a tehnologiei. Însăşi tabla silicioasă laminată la rece a evoluat ca performanţă de la tipurile cu pierderi specifice maxime pe lotul de tablă la 1,5 T de 1,11 W/kg (M6) şi 0,97 W/kg (M5) spre 0,89 W/kg (M4), existînd tendinţa de reducere în continuare. În prezent întreprinderile specializate reuşesc să elaboreze şarje de tablă care prin sortare să corespundă nivelelor M3, M4 şi M5.

Spre deosebire de tabla silicioasă laminată la cald care se livra în pachete, tabla silicioasă laminată la rece se livrează în rulouri ceea ce permite prin debitarea raţională în formate necesare pe utilaje specifice o economie de metal de circa 7 %. Fabricaţia a fost dotată în acest scop cu foarfeci de tăiat cu role pe care tabla se debitează în fîşii de lăţimea dorită şi cu foarfeci automate de debitare la lungime, utilaje care reduc deşeurile tehnologice la minimum tehnic posibil.

Schimbarea soluţiei constructive a miezului prin împachetare la 45° precum şi introducerea recoacerii tablei silicioase după debitare în cuptoare tunel a permis reducerea nivelului de pierderi în miezuri cu 20—24 %, fiecăreia din aceste măsuri revenindu-i circa jumătate din reducerea obţinută.

Seria nouă de transformatoare de distribuţie este concepută cu două soluţii de împachetare (fig. 1).

Soluţia din „varianta a" are îmbinarea jugului superior şi inferior cu coloana din mijloc, jumătate la 45° şi jumătate la 90°, iar soluţia din „varianta b" are îmbinările complet la 45° ceea ce se obţine prin ştanţare în V a tolelor de la jug. Între cele două soluţii există diferenţe şi anume : soluţia din „varianta a" conduce la pierderi în fier cu circa 2 % mai mari decît cea

* Ing. *M. Liculescu* şi ing. *I. Cojocaru* lucrează la Uzinele Electroputere

din „varianta b" dar în același timp consumul de metal la „varianta b" este mai mare cu circa 4 % datorită deșeurilor care se scot de la

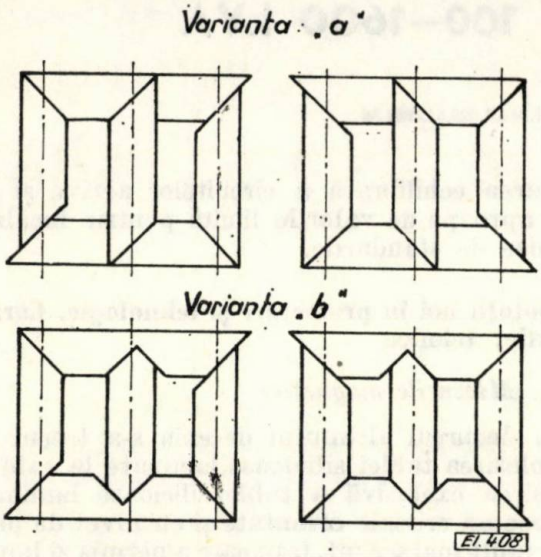


Fig. 1. Variante de împachetare a miezurilor magnetice din tole tăiate la 45°.

ștanțarea în V a jugurilor și de la tăierea vîrfurilor la tolele coloanei din mijloc.

La această serie nouă, în scopul obținerii unui consum minimal de tablă silicioasă s-a aplicat o nouă soluție constructivă și de dimensionare a miezului magnetic care constă în aceea că secțiunea jugului este aproximativ egală cu a coloanei, inducțiile în coloane și juguri fiind în acest caz apropiate. S-au obținut astfel transformatoare la care consumul de metal (și anume metal înnobilat, tablă silicioasă) este substanțial redus, fără ca această reducere a consumului să influențeze nivelul de pierderi. Concomitent s-a obținut echilibrarea inducțiilor pe trepte în coloane și juguri precum și o serie de avantaje tehnologice în sensul reducerii numărului de lățimi de tole la același transformator, deoarece tolele jugului sînt egale ca lățimi cu cele de la coloană.

Strîngerea miezurilor la această nouă serie, pînă la puterea de 1600 kVA inclusiv este realizată fără a folosi buloane care să treacă prin miez. Coloanele, ca și la seria precedentă sînt consolidate prin încleierea superficială a marginilor cu un lac epoxidic cu uscare la rece. Jugurile se strîng între două schele din profil „U" numai cu butoane exterioare la transformatoarele pînă la 630 kVA, iar la transformatoarele de 1000—1600 kVA care au dimensiuni și greutăți apreciabil mai mari, s-a introdus o strîngere suplimentară cu chingi speciale în fereastră și aceasta numai la jugul superior (care e supus unor eforturi mecanice mai mari la manevrare și transport). Concomitent, prin măsuri tehnologice de dozare și limitare a strîngerii schelelor, se evită curbarea acestora și se realizează o strîngere uniformă a jugurilor ceea ce pe lîngă obținerea unor construcții rigide conduce și la evitarea unor zone de concentrare a eforturilor de strîngere a jugurilor și deci se reduc pierderile suplimentare în miez cauzate de tensionarea materialului.

Aplicarea soluțiilor indicate mai sus la noua serie de transformatoare de distribuție conduce la importante economii de tablă silicioasă. Astfel, la o producție anuală de 10 000 transformatoare, socotind că economia medie de transformator este de 40 kg de tablă silicioasă (vezi tabela nr. 1) rezultă că pentru obținerea de transformatoare cu aceleași performanțe tehnice în miezuri se va utiliza cu 400 tone tablă silicioasă mai puțin respectiv o economie de peste 5 milioane lei.

B. Bobinajele

Seria de transformatoare de distribuție este concepută cu bobinaje din conductoare de aluminiu izolate cu hîrtie.

Munca de concepție desfășurată în ultimele două decenii a permis elaborarea de soluții de proiectare și tehnologie astfel încît construcțiile de transformatoare de distribuție cu înfășurări de aluminiu să aibă performanțe comparabile cu cele ale transformatoarelor cu înfășurări din cupru și să fie la fel de sigure în exploatare. Folosirea aluminiului în loc de cupru la înfășurările transformatoarelor de distribuție a avut un important efect economic. Dacă socotim că pentru o producție anuală de 10000 bucăți transformatoare de distribuție s-ar consuma 3000 tone de cupru, ținînd seama de densitățile și conductibilitățile electrice diferite ale cuprului și aluminiului, rezultă că pentru a executa aceste transformatoare cu înfășurări de aluminiu și cu același nivel de pierderi electrice în înfășurări ar fi necesare numai circa 1500 tone aluminiu, ceea ce conduce nu numai la o importantă economie de metal, ci și la o economie valorică la preț de cost de circa 100 milioane lei.

Păstrînd siguranța necesară la efectele de supratensiuni, seria nouă este prevăzută cu supragrosimi de izolație a conductoarelor mai mici decît la seria precedentă (0,36 mm pe ambele fețe în loc de 0,44 mm). Acest lucru a devenit posibil pe deoparte datorită progreselor obținute în calitatea conductorilor și a izolării precum și printr-o judicioasă proiectare a bobinajelor.

În elaborarea soluțiilor pentru bobinaje s-a urmărit în mod special obținerea efectelor calitative, de siguranță în funcționare, bobinajele fiind elementul constructiv cel mai expus influenței factorilor externi determinați de exploatare (supratensiuni atmosferice sau de comutație, scurtcircuite). Desigur dimensionarea corectă conjugată cu o serie de măsuri teh-

Comparaţie între seria de transformatoare de distribuţie 100—1600 kVA seria 1968 şi 1972 *Tabela 1*

Nr. curent	Puterea, kVA	Tensiunea, kV	Seria 1968					Seria 1972					Economii					
			P_0, W	P_k, W	G_{Fe}, kg	G_{Al}, kg	G_T, kg	P_0, W	P_k, W	G_{Fe}, kg	G_{Al}, kg	G_T, kg	Tablă silicioasă, kg	%	Aluminiu, kg	%	G. totală kg	%
1	100	10						350	2300	210	50,5	740						
		20						365	2300	271	53	900						
2	160	10						500	3100	308	69	950						
		20						525	3100	371	67	1100						
3	250	10	680	4400	439	100	1450	660	4400	399	91	1300	40	9,1	9	9	150	10,3
		20	680	4400	477	101	1650	680	4400	431	93	1380	46	9,6	8	7,9	270	16,3
4	400	10	980	6000	558	165	1950	940	6000	524	146	1650	34	6,1	19	11,5	300	15,3
		20	980	6000	595	168	2120	980	6000	556	149	1780	39	6,5	18	10,7	340	16
5	630	10	1250	8200	775	217	2450	1200	8200	730	210	2265	45	5,8	7	3,2	180	7,35
		20	1250	8200	817	228	2700	1250	8200	758	212	2360	59	7,1	16	7	250	9,25
6	1000	10	2150	13000	1025	323	3450	1850	12500	949	333	2950	76	7,4	−10	−3,3	500	14,5
		20	2200	13000	1091	338	3730	1950	12500	1045	306	3150	46	4,2	32	9,45	580	15,5
7	1600	10	3000	22000	1455	458	4800	2600	18000	1380	451	4350	75	5,2	7	1,53	450	9,4
		20	3000	22000	1538	460	5100	2700	18000	1460	453	4570	68	4,4	7	1,52	430	8,45

nologice, a avut ca ţel pe lîngă realizarea unor bobinaje stabile la eforturile dinamice de scurtcircuit şi rezistente la tensiuni de impuls, obţinerea lor în condiţii de maximă economicitate. Micşorarea prin proiectare a asimetriilor şi măsurile de consolidare a bobinajelor au rezolvat complet problema rezistenţei mecanice la eforturile de scurtcircuit. Alegerea corectă a distanţelor şi grosimilor de izolaţie şi tratarea corespunzătoare a izolaţiei asigură rezistenţa la tensiuni de impuls.

Pentru joasă tensiune a fost adoptat un nou tip de bobinaj cilindric cu 2 căi de curent, cu conductoare bobinate numai pe lat fără încrucişare pînă la puterea de 630 kVA şi cu încrucişare pentru puterile de 1000 şi 1600 kVA (vezi fig. 2).

Aplicarea acestui tip de bobinaj în care cele două căi de curent sînt puse în condiţii similare a condus la reducerea pierderilor suplimentare în înfăşurări cu circa 15 % respectiv la o economie de aluminiu medie pe transformator de 10 kg.

Pentru transformatoarele de 1000 şi 1600 kVA (vezi fig. 3) s-a aplicat un nou mod de încrucişare care a permis reducerea spaţiului de încrucişare şi deci pe lîngă reducerea dezechilibrului de amperspire şi creşterea stabilităţii bobinajului s-au obţinut economii prin redimensionarea celorlalte elemente constructive (bobinajele de înaltă tensiune, miezuri, etc.).

Pentru înaltă tensiune la toate puterile şi tensiunile s-au adoptat ca şi la seria precedentă bobinajele stratificate care comparativ cu bobi-

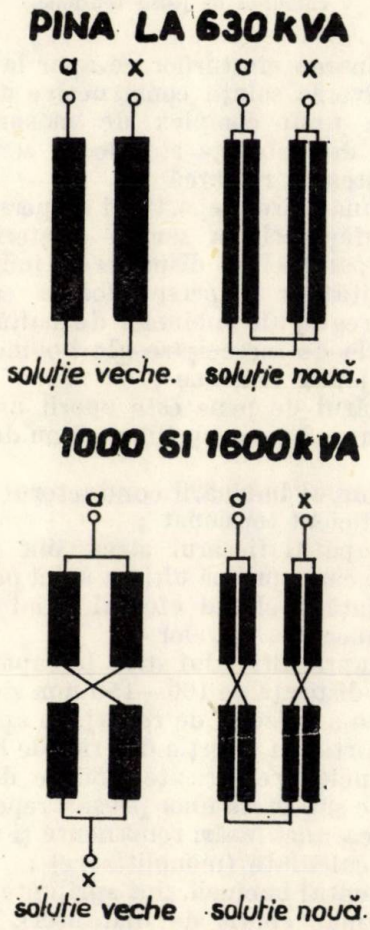


Fig. 2. Scheme de bobinaj pentru bobinaje cilindrice de joasă tensiune.

najele în galeți prezintă cunoscutele avantaje (sînt antirezonante, compacte și deci ocupînd un spațiu mic în fereastră permit economii substanțiale în dimensionarea miezurilor, se execută cu productivitate ridicată, etc).

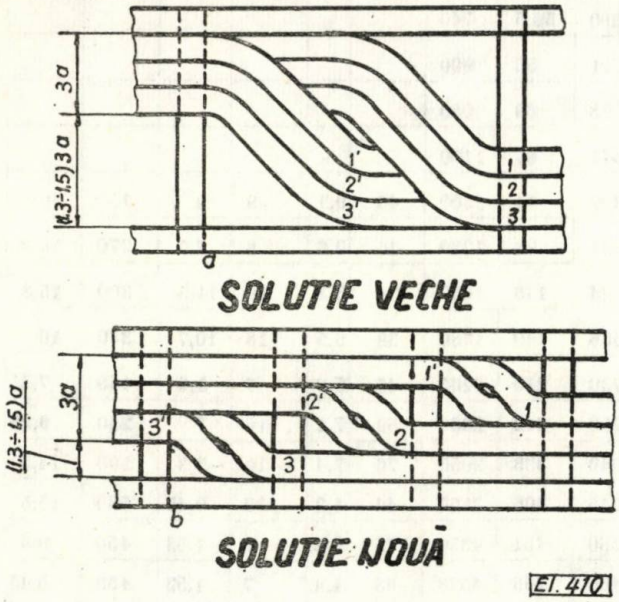


Fig. 3. Realizarea încrucișării conductorilor la bobinajele cilindrice de joasă tensiune.

Determinarea eforturilor ce apar la scurtcircuit pe diverse soluții constructive au permis elaborarea unui complex de măsuri pentru realizarea de bobinaje stabile la scurtcircuit. Între acestea se remarcă :

— îmbunătățirea repartiției amperspirelor la ambele înfășurări, în sensul creșterii uniformității repartiției și dispunerea judicioasă a neuniformităților amperspirelor la capete, în zonele de reglaj ale bobinelor de înaltă tensiune și în zonele de încrucișare ale bobinelor cilindrice de joasă tensiune ;

— numărul de pene este sporit astfel încît distanța între 2 pene (sprijine) să nu depășească 50 mm ;

— în timpul bobinării conductorul este uniform și suficient tensionat ;

— la capătul fiecărui strat sînt prevăzuți egalizatori care sprijină ultima spiră pe întreaga circumferință preluînd efortul axial și împiedicînd alunecarea spirelor ;

— deasupra ultimului strat la capetele bobinelor pe o distanță de 100—150 mm și în zonele de scoatere a prizelor de reglaj, se aplică bandaje din hîrtie cu inserție din fire de bumbac ;

— bobinele prefabricate înainte de montaj sînt supuse sub presă unor presări repetate pînă la obținerea unei tasări remanente și reducerea la cotele calculate (monolitizare) ;

— la montaj bobinele sînt sprijinite la capete pe un număr sporit de distanțori, iar între înaltă și joasă tensiune se face o bună împănare (consolidare).

Acest complex de măsuri care pe deoparte conduce la micșorarea eforturilor ce apar la scurtcircuit, iar pe de altă parte la consolidarea bobinajelor astfel încît să reziste la aceste eforturi a permis să se elaboreze construcții economice și sigure în exploatare.

O soluție economică a fost aplicată la dimensionarea izolației între straturile bobinelor de înaltă tensiune. Soluția clasică constă în aceea că între straturi se introduce un număr de hîrtii de cablu corespunzător tensiunii maxime ce apare între straturi la încercare. În realitate această tensiune apare numai la unul din capetele bobinei unde se însumează tensiunea pe cele două straturi alăturate, iar între următoarele două straturi această tensiune maximă se plasează la celălalt capăt al bobinei. Ținînd seama de acest considerent la noua serie s-a adoptat între straturi o izolație gradată respectiv la capătul unde se însumează tensiunea între straturi se pun mai multe hîrtii, iar la capătul la care se face trecerea de la un strat la altul se pune numărul minim de hîrtii. În felul acesta au fost reduse dimensiunile bobinajului, crescută siguranța în exploatare și îmbunătățită transmisia căldurii creată de pierderi.

Merită de asemenea să fie menționată soluția bobinelor ovale de înaltă tensiune. Constatînd existența unor rezerve la încălzire la bobinele de înaltă tensiune (bobine care sînt bine spălate de uleiul de răcire pe întreaga suprafață exterioară și prin canalele inferioare) s-a ajuns la concluzia că în zona ferestrei se poate renunța la canalul de răcire al bobinei de înaltă tensiune, bobina rămînînd în continuare bine răcită. În acest fel fiecare jug a putut fi redus în lungime cu echivalentul a patru canale de răcire, respectiv cu 20—25 mm, ceea ce de exemplu la un transformator de 250 kVA înseamnă circa 6 kg tablă silicioasă plus economiile ce rezultă din dimensionarea generală (reducerea dimensiunii cuvei, consumului de ulei, etc.).

În perspectivă se are în vedere și aplicarea altor soluții (conductori izolați cu email rezistenți la ulei, bobinaje în folii etc) care de asemenea, prin reducerea grosimii izolației vor permite redimensionarea construcțiilor și deci economii de metal la înfășurări, miezuri și construcție în ansamblu.

Trebuie menționate și măsurile luate și cele preconizate în perspectivă pentru creșterea fiabilității bobinajelor și anume : o bună uscare a bobinajelor (cu puternică circulație de aer cald reglat automat și vaccum avansat) înainte de încuvare ; utilizarea de uleiuri cu proprietăți dielectrice ridicate și stabile în timp ; montarea filtrului cu silicagel indicator ; dotarea transformatoarelor cu filtru termo-sifon cu silicagel pentru uscarea uleiului ; izolarea uleiului de mediul exterior (peliculă elastică, construcție etanșă mecanic).

C. Construcția metalică (cuva)

În funcție de tipul elementelor de răcire adoptat de diverse fabrici din lume se deosebesc următoarele tipuri de cuve : cu țevi rotunde ; cu lire din țevi (înfășurătoarea rotundă, iar țevile intermediare ovale sau rotunde cu diametru mai mic) ; cu radiatoare din țevi eliptice ; cu radiatoare ambutisate din tablă (cu lățimi de ordinul a 200—250 mm sau soluția ultimă cu lățimi ale radiatoarelor cît lățimea cuvei) ; cu ondule care formează pereții laterali ai cuvei.

Soluțiile menționate mai sus au fiecare avantajele și dezavantajele proprii legate de consumul de metal, productivitate și rigiditate în exploatare. Primele utilizează metale mai puțin scumpe și sînt mai rigide, ultimele sînt mai ușoare, se pretează mai bine la automatizarea fabricației, dar utilizează metale mai scumpe și sînt mai puțin rigide.

Astăzi în lume se folosesc toate aceste soluții în funcție de tradițiile și dotarea fiecărei fabrici constructoare de transformatoare precum și de condițiile de asigurare cu materialele necesare.

Spre deosebire de seria anterioară care avea cuve cu lire (fig. 4) la seria nouă de transformatoare de distribuție a fost adoptată soluția de răcire cu radiatoare din țevi eliptice (fig. 5).

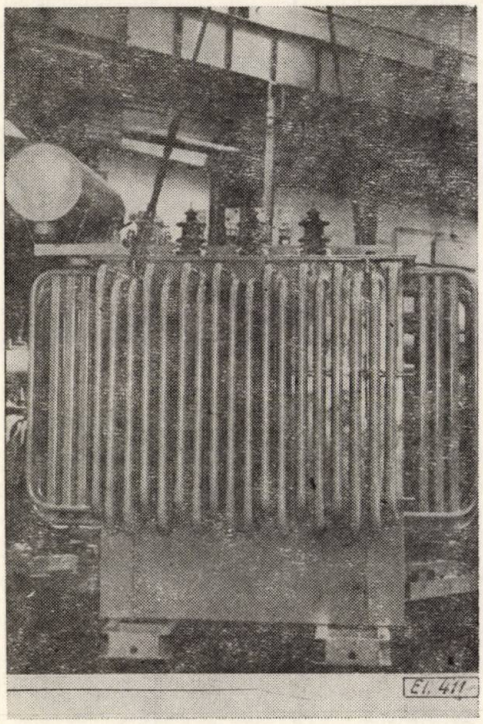


Fig. 4. Transformator 1000 kVA 6/0,4 kV din seria 1968 avînd cuva din elemente de răcire tip liră.

Aplicarea acestui radiator a permis reducerea dimensiunilor de gabarit a transformatoarelor din seria 100—1600 kVA cu circa 20% și în același timp realizează și economii de ulei.

Pentru transformatoarele cu putere pînă la 250 kVA inclusiv s-a aplicat un nou sistem de consolidare a pereților cuvei și anume cu nervurare prin ambutisare în locul soluției cu centuri (fig. 6). De asemenea pînă la aceeași

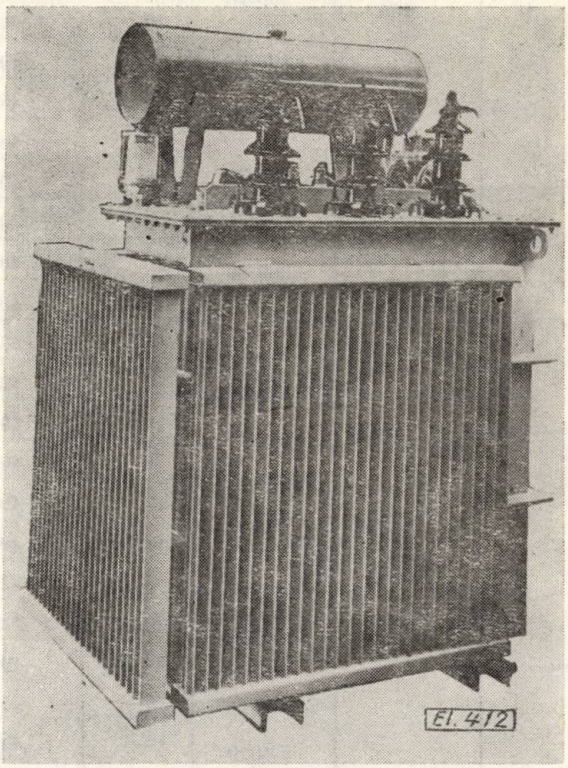


Fig. 5. Transformator 400 kVA 20/0,4 kV din seria 1972 avînd cuva cu radiatoare din țeavă eliptică.

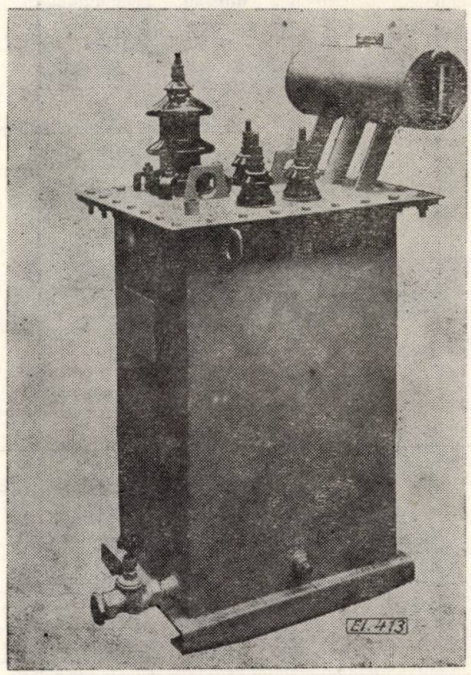


Fig. 6. Transformator cu sistem de consolidare a pereților cuvei prin ambutisare

Tabela 2

Caracteristici tehnice ale transformatoarelor de distribuție. Seria 1972

	P, kVA	Construcție	I.T. K.V.	J.T. K.V.	Grupa de conexiune	P_0 W	P_k W	U_k %	I_0 %
1	100	100/10	6	400	yz_05	350	2300	4	3
			10	400					
		100/20	20	400		365			
2	160	160/10	6	400	yz_05	500	3100	4	2,9
			10	400					
		160/20	20	400		525			
3	250	250/10	6	400	Δy_05	660	4400	6	2,9
			10	400					
			10(5)	400					
		250/20	6	525	yy_00	680			
			20	525					
			20(15)	400	Δy_05				
4	400	400/10	6	400	Δy_05	940	6000	6	2,8
			10	400					
			10(5)	400					
		400/20	6	525	yy_00	980			
			20	525					
			20(15)	400	Δy_05				
5	630	630/10	6	400	Δy_05	1200	8200	6	2,4
			10	400					
			10(5)	400					
		630/20	6	525	yy_00	1250			
			20	525					
			15	525					
			20(15)	400	Δy_05				
6	1000	1000/10	6	400	Δy_05	1850	12500	6	2
			10	400					
			10(5)	400					
		1000/20	6	525	yy_00	1950			
			20	525					
			15	525					
			20	6300					
			20(15)	400	Δy_05				
7	1600	1600/10	6	400	Δy_05	2600	18000	6	1,7
			10	400					
			10(5)	400					
		1600/20	6	525	yy_00	2700			
			20	525					
			15	525					
			20	6300					
			20(15)	400	Δy_05				

kVA / putere / tensiune / kV		Țara producătoare						
		R.S.R.	R.D.G.			U.R.S.S.		Seria elaborată de C.A.E.R – 1970
		S.U. 1972 – AI	TGL – 9832 – 60	TGL 9832 – 71	Catalog 1969	Gost 11920 : 12022 – 66	Catalog 1971	
100/10	P_o, W	350	380	380	380	365(310)	365	490
	P_k, W	2300	2300	2300	2300	2270	1970	1970
	U_k, %	4	4	4	4	4,7	—	4,5
	G. ulei, kg	195	190	190	180	—	—	—
	G. totală kg	740	760	760	740	—	715	715
	Gabarit mm	1120 × 770 × 1480	1085 × 690 × 1580	1085 × 710 × 1580	950 × 710 × 1580	—	1150 × 800 × 1445	1150 × 800 × 1445
160/10	P_o	500	550	550	550	540(460)	540	540
	P_k	3100	3200	3200	3200	3100	2650	2650
	U_k	4	4	4	4	4,7	—	4,5
	G. ulei	250	230	230	230	—	—	—
	G. totală	950	960	960	955	1100	1000	1100
	Gabarit	1210 × 780 × 1480	1240 × 680 × 1590	1240 × 780 × 1590	1050 × 780 × 1590	1220 × 1020 × 1600	1210 × 1000 × 1585	1600 × 1220 × 1020
250/10	P_o	660	700	650	700	780(660)	780	750
	P_k	4400	4400	3800	4400	3700	3700	3700
	U_k	6	6	6	6	4,5	—	4,5
	G. ulei	355	320	320	320	—	—	—
	G. totală	1300	1320	1320	1290	1425	1300	1425
	Gabarit	1360 × 875 × 1520	1700 × 735 × 1760	1380 × 900 × 1460	1620 × 870 × 1760	1310 × 1050 × 1760	1265 × 1040 × 1720	1760 × 1310 × 1050
400/10	P_o	940	1000	910	1000	1080(920	—	1080
	P_k	6000	5900	5300	5900	5900	—	5500
	U_k	6	6	6	6	4,5	—	4,5
	G. ulei	384	450	400	450	—	—	—
	G. totală	1650	1820	1800	1760	1900	—	1900
	Gabarit	1490 × 970 × 1845	1875 × 880 × 1850	1600 × 900 × 1550	1875 × 880 × 1840	1400 × 1080 × 1900	—	1900 × 1400 × 1080
630/10	P_o	1200	1450	1300	1450	1680(1420)	4200	1680
	P_k	8200	7800	7300	7800	8500	7900	76000
	U_k	6	6	6	6	5,5	—	5,5
	G. ulei	570	570	540	570	—	—	—
	G. totală	2270	2330	2400	2260	3000	2900	3000
	Gabarit	1630 × 1080 × 1950	1950 × 1080 × 2000	1705 × 950 × 1700	1950 × 1080 × 1995	1750 × 1275 × 2150	1750 × 1275 × 1950	2150 × 1750 × 1275
1000/10	P_o	1850	2000	1700	—	2450(2100)	—	2450
	P_k	12500	11000	11000	—	12000	—	12200
	U_k	6	6	6	—	5,5	—	5,5
	G. ulei	630	1000	1000	—	—	—	—
	G. totală	2950	4000	400	—	4700	—	4700
	Gabarit	1950 × 1080 × 2350	2300 × 1100 × 2500	2300 × 1100 × 2700	—	2700 × 1700 × 2700	—	2700 × 1700 × 2700
1600/10	P_o	2600	2900	2600	—	3300(2800)	—	—
	P_k	18000	16000	16000	—	18000	—	—
	U_k	6	6	6	—	5,5	—	—
	G. ulei	1100	1500	1500	—	—	—	—
	G. totală	4350	5900	5900	—	6500	—	—
	Gabarit	2080 × 1305 × 2550	2600 × 1400 × 2800	2600 × 1400 × 2800	—	2300 × 2700 × 3150	—	—

Tabela 4

kVA / puterea / tensiunea / kV		Țara producătoare				
		R.S.R.	R.D.G.			Seria elaborată de C.A.E.R. 1970
		S.U. 1972	T.G.L.–9832–60	T.G.L.–9832–71	Catalog–1969	
100/20	P_o, W	365	380	380	380	465
	P_k, W	2300	2300	2300	2300	2300
	U_k, %	4	4	4	4	6,5
	G. ulei, kg	240	190	190	180	—
	G. totală, kg	900	770	770	740	1300
	Gabarit, mm	1160×780×1640	1085×690×1580	1085×710×1580	950×710×1580	2200×1330×900
160/20	P_o	525	550	550	550	660
	P_k	3100	3200	3200	3200	2650
	U_k	4	4	4	4	6,5
	G. ulei	280	230	230	230	—
	G. totală	1100	970	970	955	1700
	Gabarit	1225×795×1660	1240×680×1590	1240×780×1590	1050×780×1590	2260×1400×1000
250/20	P_o	680	700	650	700	960
	P_k	4400	4400	3800	4400	3700
	U_k	6	6	6	6	6,5
	G. ulei	380	320	320	320	—
	G. totală	1380	1330	1320	1290	2000
	Gabarit	1380×875×1725	1700×735×1760	1380×900×1460	1620×870×1760	2320×1500×1250
400/20	P_o	980	1000	910	1000	1350
	P_k	6000	5900	5300	5900	5500
	U_k	6	6	6	6	6,5
	G. ulei	434	450	400	450	—
	G. totală	1780	1830	1800	1760	2700
	Gabarit	1490×995×1910	1875×880×1850	1600×900×1550	1875×880×1840	2500×1650×1350
630/20	P_o	1250	1450	1300	1450	—
	P_k	8200	7800	7300	7800	—
	U_k	6	6	6	6	—
	G. ulei	570	570	540	570	—
	G. totală	2360	2340	2400	2260	—
	Gabarit	1650×1080×2060	1950×1080×2000	1705×950×1700	1950×1080×1995	—
1000/20	P_o	1950	2000	1700	—	—
	P_k	12500	11000	11000	—	—
	U_k	6	6	6	—	—
	G. ulei	700	1000	1000	—	—
	G. totală	3150	4000	4000	—	—
	Gabarit	1960×1100×2390	2300×1100×2500	2300×1100×2700	—	—
1600/20	P_o	2700	2900	2600	—	3650
	P_k	18000	16000	16000	—	16500
	U_k	6	6	6	—	5,5
	G. ulei	1160	1500	1500	—	—
	G. totală	4570	5900	5900	—	4900
	Gabarit	2090×1320×2650	2600×1400×2800	2600×1400×2800	—	3150×2300×2700

putere rama se realizează din peretele cuvei prin îndoire la abkant.

Comparativ cu sistemul vechi, cuvele cu radiatoare din ţevi eliptice permit pentru aceeaşi suprafaţă de răcire o economie de circa 10 % la greutatea cuvei, ceea ce calculat la o producţie anuală de 10000 transformatoare înseamnă circa 300 tone metal economisit.

Preocupările de perspectivă sînt îndreptate ca, pe măsura asigurării tablelor subţiri decapate, însuşirea procedeelor de lucru şi asigurarea dotării necesare, să se treacă la sisteme de răcire care să se preteze mai bine la automatizarea fabricaţiei de cuve şi să se realizeze cu metal mai puţin (cuve cu radiatoare panou din tablă ambutisată sau cuve cu ondule).

3. Concluzii

Seria nouă de transformatoare de distribuţie proiectată în 1972 (a cărei fabricaţie de serie a început recent după verificarea prototipurilor) comparativ cu seria proiectată în 1968, prezintă la acelaşi nivel de performanţe tehnice importante economii de material (tablă silicioasă, aluminiu, ulei, tablă neagră, ţevi) precum şi dimensiuni de gabarit mai mici. Caracteristicile tehnice ale acestei noi serii sînt prezentate în tabela 2.

Nivelul performanţelor acestei serii comparativ cu cel prevăzut de diverse standarde pentru transformatoare de aluminiu şi cu realizările unor firme străine este prezentat în tabela nr. 3 şi 4.

Se poate aprecia în concluzie că nivelul tehnic şi economic realizat prin introducerea noii serii este corespunzător nivelului atins pe plan mondial în fabricaţia de transformatoare de distribuţie cu înfăşurări de aluminiu. În continuare progrese pot fi realizate prin introducerea de calităţi superioare de tablă silicioasă şi îmbunătăţirea tehnologiei de prelucrare a acesteia în scopul reducerii pierderilor suplimentare, prin folosirea de conductori emailaţi şi a foliilor emailate în construcţia bobinajelor precum şi prin utilizarea unor cuve cu sisteme de răcire mai eficiente şi mai economice.

Bibliografie

[1] STAS 1703—67. Transformatoare de putere în ulei — condiţii generale.

[2] STAS 3035—65. Transformatoare de putere în ulei. Metode de încercare.

[3] VDE 0532/64. Regeln für Transformatoren.

[4] TGL 11376/62. Transformatoren Dynamische, Kurzschlussprüfungen. Prüfmethode.

[5] CEI 76/1967. Projet de revision : Recommandations pour les transformateurs de puissance.

[6] *Torseke, L.* Problémes de courts-circuits dans les grands transformateurs CIGRE, Rap. 142/1962.

[7] *Jezierski, E.* Transformatoare electrice — construcţie şi proiectare.

[8] *Tihomirov, P. M.* Rasciot transformatorov, Gosenergoizdat, Moscova, 1962.

[9] Evolution de la construction des transformateurs moyenne tension. In : l'Électricien 78, 1965.

[10] *Haggit, S. I.* Aluminiu în transformatoare. In : Caiet selectiv electrificare, electrotehnică, nr. 1, 1965.

[11] *Delhaye, I.* şi *Vuarchex, I. P.* Les isolants stabilisés et les possibilités d'echauffement des transformateurs. In : R.G.E. 74, nr. 9, septembrie 1965.

[12] *Harris,* P. Alegerea transformatoarelor de putere prin metoda evoluării pierderilor. In : Power Engng SUA 70, nr. 4—10, oct. 1966.

[13] *Manzinger.* Progrese în construcţia transformatoarelor. In : Elektro Berichte RFG, nr. 12 şi nr. 13, iulie — sept. 1966.

[14] *Luliac.* O metodă de optimizare a circuitelor megnetice şi a bobinajelor lor. In : Revue Gen Électr 75, nr. 2, febr 1966.

[15] *Gorceakova.* Protecţia izolaţiei transformatoarelor împotriva îmbătrînirii. În : Energhetik, nr. 1, ian 1971.

[16] *Pietrow, G. N.* Probleme selectate din domeniul construcţiei transformatoarelor moderne. In : Prz. Elektr. nr. 2, 1970.

[17] *Liculescu, M., Cîrstea, D., Răducanu, I.* şi *Marinescu,* A. Realizări şi perspective în fabricaţia transformatoarelor de putere. In : Electrotehnica 17, nr. 7 şi 8, iunie—august 1969.

[18] *Cojocaru, I., Gaciu, C.* şi *Landau, H.* Măsuri pentru asigurarea la scurtcircuit a transformatoarelor din noua serie unitară de la 100—1600 kVA. In : Comunicări tehnice—Electroputere, decembrie 1963.

Intrat în redacţie la 21.XI.1972

Calculul repartiției cîmpului electromagnetic și al caracteristicilor motoarelor liniare unilaterale cu indus din aluminiu-fier

ION BOLDEA* — Timișoara

CZ 621.313.333.2.042.12 : 538.311

Motoarele liniare unilaterale sînt de mare perspectivă în unele instalații de transport intern cît și în tracțiunea de mare viteză. În multe cazuri indusul este constituit dintr-o placă din aluminiu, închiderea cîmpului magnetic realizîndu-se printr-un miez din tole silicioase sau feromagnetic masiv. Din punct de vedere al eficacității globale este posibil ca miezul feromagnetic să fie soluția optimă.

În prezent, în acționarea podurilor rulante, s-a impus, în mare măsură, indusul din aluminiu așezat pe miez feromagnetic masiv. Pentru acest tip de motor, în lucrare, se propune o metodă de calcul al repartiției cîmpului electromagnetic și al caracteristicilor de funcționare.

Pentru simplificarea calculelor, fără a influența în măsură inadmisibilă precizia, se fac următoarele ipoteze : toate mărimile variază sinusoidal în timp ; se neglijează efectul longitudinal și transversal, ipoteză admisibilă la motoarele liniare de viteză redusă (destinate, de exemplu, podurilor rulante) ; se neglijează componența alternativă a cîmpului magnetic din miezul feromagnetic ; caracteristica de magnetizare se aproximează prin ecuația $B=KH^{1-2/n}$, numărul de poli este $(2p+1)$, iar numărul echivalent de poli $(2p-1/2)$; înfășurarea inductoare cu număr impar de poli $(2p+1)$ are crestăturile marginale semibobinate.

Ecuațiile cîmpului electromagnetic

Pe baza ecuațiilor lui Maxwell, sub formă complexă, se deduc expresiile componentelor, în direcția întrefierului, ale intensității de cîmp magnetic. Se au în vedere cele trei medii : spațiul de aer dintre indus și inductor, placa de aluminiu și miezul feromagnetic, (fig. 1). Neglijînd efectul de refulare în placa de aluminiu, pentru domeniile în aer și aluminiu rezultă [4] :

$$H_{1z} = A\ e^{j(s\omega_1 t-\alpha x)};\ \alpha = \pi/\tau \qquad (1)$$

$$H_{2z} = A\ e^{j(s\omega_1 t-\alpha x)}, \qquad (2)$$

unde ω_1 este pulsația unghiulară a tensiunii de alimentare, iar s — alunecarea și τ — pasul polar.

Sistemul de coordonate este fixat în indus la adîncimea z_0 la care cîmpul magnetic este practic zero (fig. 2).

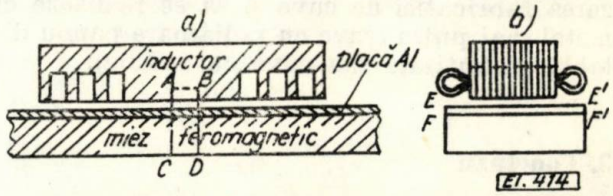


Fig. 1. Secțiune longitudinală și transversală (b)

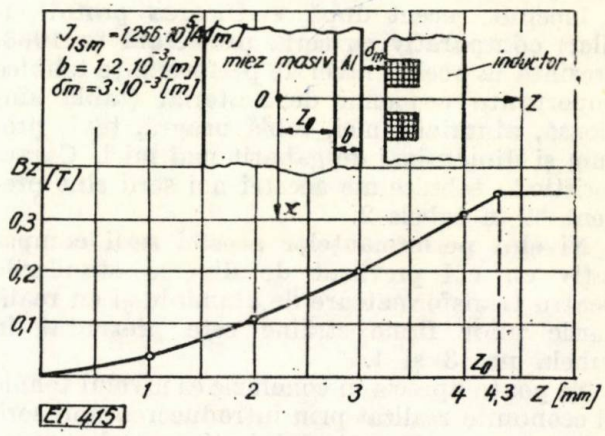


Fig. 2. Variația inducției magnetice în direcția adîncimii miezului feromagnetic.

Pentru miezul feromagnetic se obține (a se vedea și [4]) :

$$H_{3z} = H_0 \cdot \alpha \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^n \frac{z}{((n-1)^2 + A_1^2)^{\frac{1}{2}}} \cdot$$

$$\cdot\ e^{j\left(A_1 \cdot \ln z + \operatorname{arctg} \cdot \frac{n-1}{A_1}\right)} \cdot e^{j(s\omega_1 t-\alpha x)} \qquad (3)$$

unde :

$$A_1 = (n(n-1))^{\frac{1}{2}};$$

$$a = \left(\frac{K\omega_1 \cdot s \cdot \sigma_{Fe}}{2n-1)\sqrt{n(n-1)}}\right)^{1/2};\ |H_0| = (az_0)^n. \qquad (4)$$

Din condiția ca liniile cîmpului să fie închise rezultă componenta longitudinală a cîmpului magnetic din miez [4] :

$$H_{3x} = H_0 \left(\frac{z}{z_0}\right)^n \cdot e^{jA_1 \cdot \ln z} \cdot e^{j(s\omega_1 t-\alpha x)}. \qquad (5)$$

* Dr. ing. *I. Boldea* este asistent la Institutul Politehnic „Traian Vuia" din Timișoara.

Pe baza legii inducției electromagnetice se obțin expresiile densităților de curent în aluminiu, respectiv fier :

$$\underline{J}_{A1} = A \cdot \frac{\omega_1 \cdot s \cdot \mu_0}{\alpha} \cdot \sigma_{A1}; \tag{6}$$

$$\underline{J}_{Fe} = \frac{\omega_1 \cdot s}{a^2 z} \left(\frac{z}{z_0}\right)^n \frac{\sigma_{Fe} \cdot KH}{[(n-1)^2 + A_1^2]^{\frac{1}{2}}} \cdot$$

$$\cdot e^{j\left[A_1 \ln z + \operatorname{arctg}\left(\frac{n-1}{A_1}\right)\right]}, \tag{7}$$

σ_{A1} și σ_{Fe} sînt conductivitățile electrice de volum ale aluminiului, respectiv fierului.

Pe baza legii circuitului magnetic și utilizînd condiția de continuitate, pe suprafața de separație aluminiu-fier (fig. 1), a componentei, normală la aceasta, a inducției magnetice, rezultă cele două constante $\underline{A}$ și $\underline{H}_0$ în funcție de solenația specifică a inductorului, J_{1sm}, de alunecare, de parametrii geometrici și de material ai indusului motorului liniar :

$$\underline{A} = \frac{K \cdot \alpha \cdot \underline{H}_0 \cdot e^{j\left(A_1 \ln z_0 + \operatorname{arctg}\frac{n-1}{A}\right)}}{\mu_0 \cdot a^2 z_0 \sqrt{(n-1)(2n-1)}}; \tag{8}$$

$$\frac{H_0}{\sqrt{(n-1)(2n-1)}} \cdot \left[\left(\frac{K \cdot \alpha^2 (b+\delta)}{\mu_0 \cdot a^2 \cdot z_0} + \right.\right.$$

$$+ \frac{\alpha^2 z_0^2 \cdot (n+2)}{(n+2)^2 + A_1^2} - \left.\frac{Ks \cdot \omega_1 \cdot \sigma_{Fe} \cdot A_1}{(n^2 + A_1^2)\, a^2}\right)^2 +$$

$$+ \left(\frac{K\,\omega_1 s}{a^2}\left(\sigma_{A1} \cdot \frac{b}{z_0} + \frac{\sigma_{Fe} \cdot n}{(n^2 + A_1^2)}\right) - \right.$$

$$\left.\left. - \left(\frac{\alpha^2 \cdot z_0^2 \cdot A_1}{(n+2)^2 + A_1^2)}\right)\right)^2\right]^{1/2} = J_{1sm} \tag{9}$$

Defazajul ψ între H_0 — ce reprezintă intensitatea de cîmp magnetic longitudinală (după OX) pe suprafața de separație între aluminiu și miezul feromagnetic — și solenația specifică a inductorului J_{1sm} este dat de expresia :

În figura 3, pentru un motor liniar cu pasul polar $\tau = 3{,}0 \cdot 10^{-2}$ (m); $f_1 = 50$ (Hz) ; $s = 1$; $b = 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ (m); $\delta_m = 3 \cdot 10^{-2}$ (m); $K = 0{,}31$; $n = 2{,}5$; $\sigma_{Fe} = 0{,}574 \cdot 10^7$ $(\Omega m)^{-1}$; $\sigma_{A1} = 2{,}77 \cdot 10^7$ $(\Omega m)^{-1}$, se prezintă conform relațiilor (4) și (9), variația solenației specifice a inductorului, J_{1sm}, și a intensității de cîmp magnetic longitudinală pe suprafața miezului, în funcție de adîncimea de pătrundere z_0.

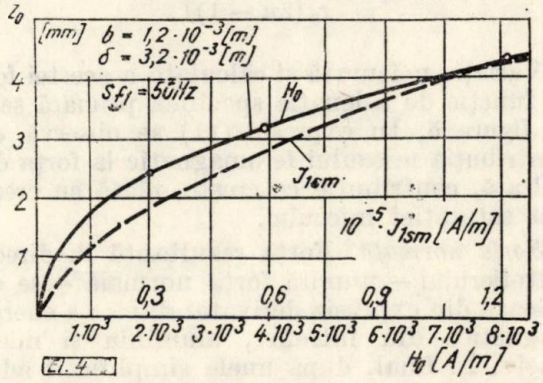


Fig. 3. J_{1sm} și H_0 ca funcții de adîncimea de pătrundere z_0.

Pentru același prototip realizat în acest scop, în figura 4 se dă dependența calculată și măsurată a inducției magnetice din întrefier în funcție de solenația specifică inductoare. Concordanța satisfăcătoare a valorilor măsurate cu cele calculate probează admisibilitatea ipotezelor și corectitudinea conducerii calculelor.

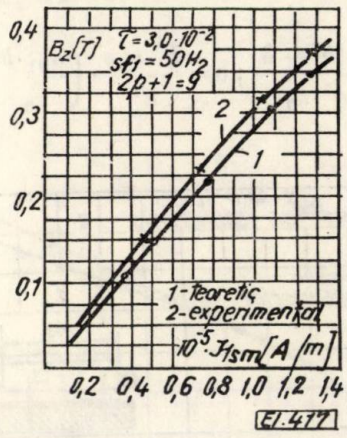


Fig. 4. Inducția magnetică în întrefier.

Pe baza expresiilor mărimilor cîmpului electromagnetic se pot determina în continuare forțele dezvoltate și parametrii echivalenți ai motorului.

$$\psi = A \ln z_0 + \operatorname{arc\,tg}\frac{n-1}{A_1} + \operatorname{arc\,tg}\left(\frac{\dfrac{K\alpha^2 \cdot (b+\delta)}{\mu_0 a^2 z_0} + \dfrac{\alpha^2 z_0 (n+2)}{(n+2)^2 + A_1^2} - \dfrac{K \cdot s \cdot \omega_1 \cdot \sigma_{Fe} \cdot A_1}{(n^2 + A_1^2) \cdot a^2}}{\dfrac{K \cdot \omega_1 \cdot s}{a^2}\left(\dfrac{\sigma_{A1} \cdot b}{z_0} + \dfrac{\sigma_{Fe} \cdot n}{n^2 + A_1^2}\right) - \dfrac{\alpha^2 \cdot z_0^2 \cdot A_1}{(n+2)^2 + A_1^2}}\right) \tag{10}$$

Forţa de propulsie

În final, integrînd forţele specifice de volum, expresia forţei de propulsie are forma :

$$F_x = \frac{1}{2}\left(2p - \frac{1}{2}\right)\frac{H_0^2 \cdot K^2 \cdot \omega_1 \cdot s \cdot \tau \cdot l_{Fe}}{a^4 (n-1)(2n-1)}\left(\sigma_{A1} \cdot \frac{b}{z_0^2} + \frac{\sigma_{Fe}}{z_0 (2n-1)}\right). \quad (11)$$

Variaţia măsurată şi calculată a acestei forţe în funcţie de solenaţia specifică primară se dă în figura 5. În expresia (11) se observă clar contribuţia miezului feromagnetic la forţa dezvoltată, contribuţie ce creşte odată cu creşterea saturaţiei miezului.

Forţa normală. Forţa rezultantă în direcţia întrefierului — numită forţă normală — se calculează din expresia derivatei după z a energiei magnetice din întrefier, aluminiu şi miezul masiv. În final, după unele simplificări admisibile chiar la valori reduse ale pasului polar, se obţine :

$$F_z \frac{-\alpha^2 K^2 \left(p - \frac{1}{4}\right) \cdot \tau \cdot l_{Fe} \cdot J_{1sm}^2}{\mu_0 \cdot a^4 \cdot z_0^2 \cdot (u^2 + v^2)^2} (u^2 - v^2); \quad (12)$$

l_{Fe} — lăţimea inductorului

unde :

$$u \simeq \frac{K \cdot \alpha^2 \cdot (b + \delta)}{\mu_0 \cdot a^2 \cdot z_0}; \; v = \frac{K \cdot \omega_1 s}{a^2} \cdot \left(\frac{\sigma_{A1} \cdot b}{z_0} + \frac{\sigma_{Fe}}{2n-1}\right). \quad (13)$$

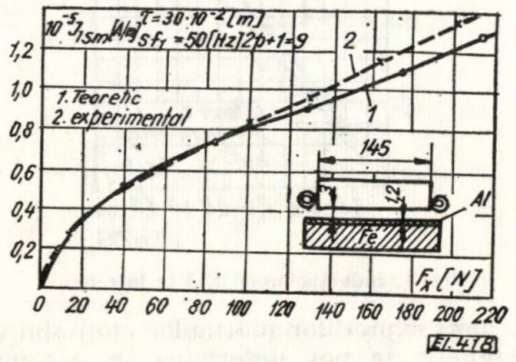


Fig. 5. Forţa de tracţiune

Forţa normală este de atracţie dacă $u > v$. La valori mari ale frecvenţei în indus şi ale pasului polar este posibil ca forţa normală să fie de respingere (fig. 6).

Forţa de atracţie trebuie avută în vedere la dimensionarea suspensiei motorului.

La podurile rulante unde, de regulă, inductorul se fixează sub indus, este posibil să se utilizeze această forţă la un ridicător de frînă cu resort, rezultînd un sistem robust de autoblocare a motorului la dispariţia tensiunii de alimentare.

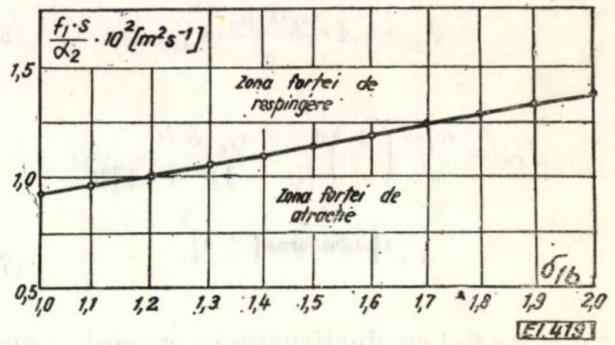


Fig. 6. Apariţia forţei de respingere

În figura 7, se dau valorile calculate ale forţei de atracţie pentru prototipul experimentat. Se observă creşterea accentuată a forţei de atracţie cu creşterea solenaţiei inductoare.

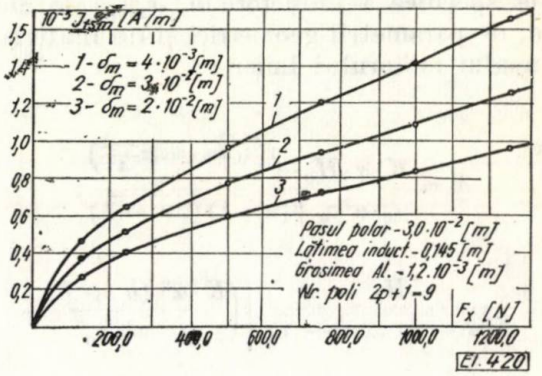


Fig. 7. Forţa de atracţie

În cazul motoarelor de mare viteză, forţa de respingere, datorată de fapt interacţiunii între solenaţia inductoare şi componenţa în opoziţie de fază cu aceasta a solenaţiei secundare, poate fi utilizată la autosuspensia vehiculului.

Parametrii echivalenţi ai ansamblului indus-întrefier. Utilizînd o schemă echivalentă de tip serie (fig. 8) impedanţa echivalentă serie a

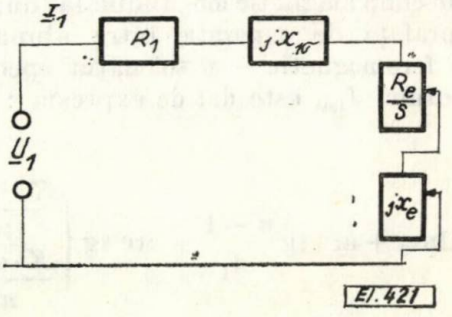


Fig. 8. Schema echivalentă serie

ansamblului indus-întrefier se calculează din expresia :

$$\underline{Z}_e = \frac{-\underline{U}_{e1}}{I_1}; \quad U_1 \text{ este tensiunea indusă în faza inductorului.} \qquad (13)$$

În final se obţine :

$$\underline{Z}_e = \frac{2\omega_1 \cdot m_1 (NK_B)^2 \cdot 1_{Fe} \cdot K(U + jV)}{p \cdot \tau \cdot a^2 \cdot z_0 \ (u^2 + v^2)};$$

$$Z_e = \frac{R_e}{s} + \mathrm{j}X_e, \qquad (14)$$

N fiind numărul de spire pe fază.

Rezistenţa şi reactanţa de dispersie a inductorului au expresii ce se deduc uzual (a se vedea şi [4]).

Curentul inductorului, I_1, se obţine din schema echivalentă :

$$I_1 = \frac{U_{1f}}{\left(\left(R_1 + \frac{R_e}{s}\right)^2 + (X_{1\sigma} + X)^2\right)^{1/2}} \qquad (15)$$

În continuare, pe baza expresiilor de calcul ale parametrilor echivalenţi, se determină caracteristica mecanică şi aceea a curentului inductor. Calculul direct al curentului inductorului în funcţie de alunecare nu este, în general, posibil pentru că adîncimea de pătrundere z_0 depinde de I_1.

Utilizînd un procedeu grafo-analitic, prin intersecţia curbelor $I_1 = f(z_0)$ date de relaţia (15), respectiv din (16) (dedusă direct din (9)), luînd alunecarea ca parametru la dimensiuni geometrice date, se obţine în final dependenţa dintre curentul inductor, adîncimea de pătrundere z_0 şi alunecare. Din (11) rezultă apoi caracteristica mecanică. Toate curbele calculate (fig. 4 şi 5) utilizează această procedură :

$$I_1 = \frac{s\,(az_0)^n \cdot \tau \cdot (U^2 + v^2)^{1/2}}{m_1 \cdot \sqrt{2} \cdot NK_B \cdot (n-1)\ (2n-1)^{1/2}}. \qquad (16)$$

În figura 9 se prezintă caracteristicile obţinute prin procedeul de calcul propus pentru prototipul executat, cu datele suplimentare : $q = 1$; $N = 480$ spire/fază ; $2p + 1 = 9$; $1_{Fe} = 0{,}145$ (m) ; lăţimea plăcii din aluminiu : $l_{Al} = 0{,}176$ (m) ; $R_1 = 4{,}65$ (Ω) ; $X_{1\sigma} = 15{,}75$; $U_{1f} = 220$ (V).

Încercări experimentale

Pentru verificarea principalelor rezultate teoretice, au fost efectuate încercări experimentale în regim de scurtcircuit pe un prototip de motor liniar executat în acest scop. Datele acestuia sînt cele prezentate mai sus.

Mai întîi s-a ridicat experimental curba de magnetizare a miezului feromagnetic masiv,

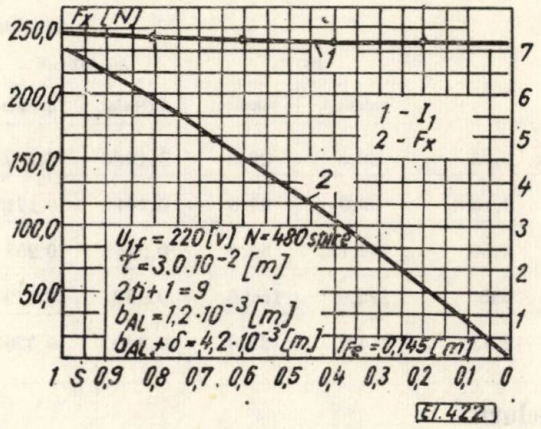


Fig. 9. Caracteristica mecanică

determinînd apoi curba, teoretică, de aproximaţie. În continuare a fost verificată ipoteza de calcul privind neglijarea componentei alternative a inducţiei magnetice din miezul masiv. Erorile rezultate, sub 9 %, sînt admisibile în calculele inginereşti (fig. 10).

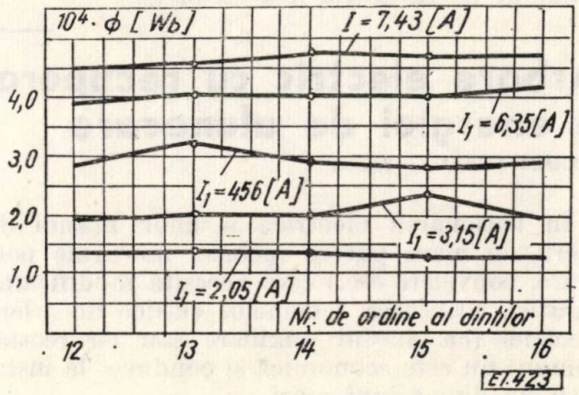


Fig. 10. Fluxul în jugul feromagnetic

Prin intermediul unor bobine ce înfăşoară, în plan transversal, miezul indusului, a fost măsurat fluxul în miezul masiv (fig. 11).

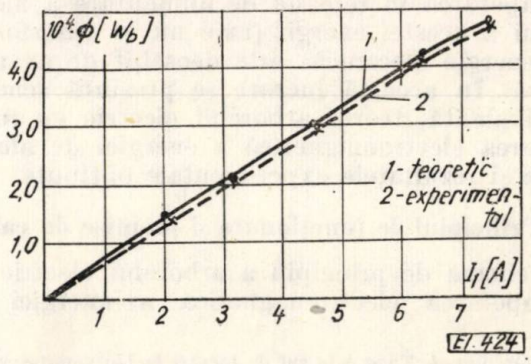


Fig. 11. Fluxul magnetic în miezul masiv

Valorile teoretice şi măsurate privind forţa de tracţiune şi inducţia magnetică din întrefier (fig. 4 şi 5), în regim de scurtcircuit, se dau în tabela 1. Rezultatele experimentale diferă, în general, cu mai puţin de 8 % de cele teoretice.

Tabela 1

$I_1(A)$	$F_x(N)$		B_δ (Wb/m²)	
	calculat	măsurat	calculat	măsurat
2,05	20,5	20,5	0,1086	5,1203
3,15	39,0	42,0	0,141	0,1713
4,56	84,15	85,0	0,2168	0,253
635	175,0	150,0	0,308	0,319
7,43	214,0	185,0	0,349	0,3703

Concluzii

Din investigaţiile teoretice şi experimentale privind motorul liniar unilateral cu indus din aluminiu pe fier, rezultă :

— necesitatea considerării saturaţiei miezului feromagnetic la calculul repartiţiei cîmpului electromagnetic şi al performanţelor;

— creşterea sensibilă a contribuţiei miezului în valoarea forţei de tracţiune, prin ridicarea gradului de saturaţie a acestuia;

— utilitatea procedeului grafo-analitic de determinare a caracteristicii mecanice şi a curentului inductor, în cazul alimentării motorului sub tensiune constantă ;

— posibilitatea utilizării directe a metodei de calcul propuse, la determinarea performanţelor motoarelor rotative cu indus masiv sau cu indus din aluminiu pe fier ;

— posibilitatea practică (prin procedeul propus), de predeterminare a performanţelor, şi de proiectare a motoarelor liniare cu număr impar de poli, unilaterale, cu indus din aluminiu pe fier.

Bibliografie

[1] *Machefort-Tasin, Y.* Application du moteur linéaire dans les transports. In : R.G.E., **80**, nr. 2, 1971, p.121—134.

[2] *Nix, G. E.* şi *Laithwaite, E. R.* Linear induction motors for low-speed and standstill application. In: Proc. I.E.E., 113, iunie 1966, p. 1044.

[3] *Pillai, P.* Fundamental-frequency eddy-current loss due to rotiating magnetic field. Part. 1. and 2. In: Proc. I.E.E., **116**, nr. 3, martie 1969, p. 407—414.

[4] *Boldea, I.* Contribuţii privind fenomenele specifice şi calculul electromagnetic al motoarelor asincrone plane liniare. Teza de doctorat, I.P. — Timişoara, 1972.

[5] *Soran, I.* şi *Boldea, I.* Metodă grafo-analitică pentru studiul caracteristicilor maşinii asincrone cu rotor masiv. Bul. St. şi tehnic al I.P. — Timişoara T 15, F.I. 1970, p. 61—68.

Intrat în redacţie la 3.I.1973

Arbore electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare

IULIAN ŢOPA* — Braşov

CZ 621.34 : 621.314.57 : 621.382.3.

În acţionarea electrică a unor maşini de lucru de mare putere (ecluze, macarale portuare, conveiere etc.) care necesită modificarea turaţiei, utilizarea schemelor clasice de arbori electrici (cu maşini auxiliare sau cu reostat comun) nu este economică şi conduce la instalaţii de dimensiuni mari.

Dezvoltarea electronicii de putere şi apariţia tiristoarelor a permis folosirea unor convertizoare statice pentru recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare a motorului asincron. În cazul unor instalaţii de puteri mari, recuperarea în reţeaua de alimentare a motorului a acestei energii (care nu se transformă în energie mecanică) este deosebit de avantajoasă. În această lucrare se prezintă schema echivalentă, teoria arborelui electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare şi rezultatele experimentale obţinute.

1. Principiul de funcţionare si premise de calcul

Schema de principiu a arborelui electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare, menţionată doar ca posibilă în literatura tehnică de specialitate [1], este reprezentată în figura 1.

Maşinile asincrone, identice, $m1$ şi $m2$ antrenează maşinile de lucru (mecanismele execu-

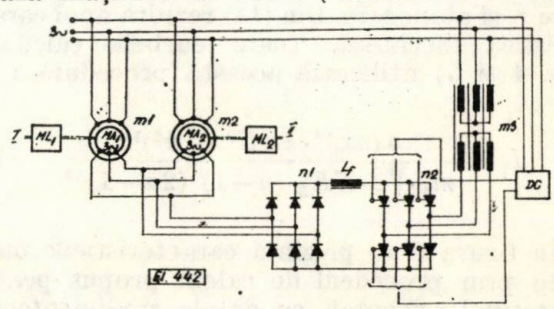


Fig. 1. Schema de principiu a arborelui electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare :
ML_1 şi ML_2 — maşini de lucru ; $m1$ şi $m2$ — motoare asincrone cu inele ; $n1$ — redresor trifazat în punte cu diode de siliciu ; $n2$ — invertor trifazat cu tiristoare ; DC — dispozitiv de comandă ; L_f — bobină de filtrare.

toare) ML_1 şi ML_2. Energia de alunecare este transformată în energie de curent continuu prin intermediul redresorului în punte $n1$ şi apoi recuperată în reţeaua de alimentare prin intermediul invertorului comandat de reţea $n2$ şi a transformatorului de adaptare $m3$.

* Dr. ing. *I. Ţopa* este şef de lucrări la Universitatea din Braşov

În cazul egalității cuplurilor statice de pe cele două axe *I* și *II*, tensiunile electromotoare induse pe fază în rotor și curenții rotorici de fază sînt aceeași în cele două mașini asincrone. De asemenea unghiul de decalaj dintre cîmpul magnetic învîrtitor rotoric și statoric este același în ambele mașini asincrone.

Dacă cuplurile statice de pe cele două axe sînt diferite, în circuitul rotoric apar curenți de egalizare; componentele active ale acestora produc cupluri de egalizare a sarcinilor, permițînd astfel ca alunecarea să fie aceeași pentru cele două motoare de acționare $m1$ și $m2$.

Pentru cele ce urmează se consideră următoarele ipoteze simplificatoare : a) fluxul magnetic se consideră egal în ambele mașini asincrone ; b) redresorul și invertorul sînt constituite din ventile ideale ; c) se consideră $\underline{c}_1 = c_1 = 1 + \frac{Z_{\sigma 1}}{Z_m} = 1$, ceea ce este admisibil ținînd seama că pentru mașinile de putere mijlocie și mare $c_1 = 1{,}01, \ldots, 1{,}05$.

Mărimile care intervin în relațiile care urmează se vor scrie cu doi indici : primul se referă la circuitul mașinii asincrone iar cel de al doilea la axul pe care este montată mașina.

Cu ipotezele enunțate tensiunile electromotoare rotorice, raportate, devin egale cu tensiunile de alimentare pe fază :

$$\underline{U}_{11} = \underline{U}'_{e21}\,; \quad \underline{U}_{12} = \underline{U}'_{e22}. \tag{1}$$

Fie cuplul static pe arborele *I* mai mare decît cel de pe arborele *II* ($M_{sI} > M_{sII}$). În acest caz, rotorul mașinii $m1$ rămîne în urma rotorului mașinii $m2$ cu un unghi θ. Ca și în cazul arborelui electric clasic, pot fi considerate următoarele tensiuni de alimentare pe fază : $\underline{U}_{11} = U e^{j\theta}$ și $\underline{U}_{12} = U$ [2]. Prin U s-a notat valoarea eficace a tensiunii aplicate pe fază în stator. Același defazaj va exista și între curenții rotorici $\underline{I}_{21}$ și $\underline{I}_{22}$ ai celor două mașini asincrone.

2. Schema echivalentă și ecuațiile de funcționare

Plecînd de la expresia puterii electromagnetice a motorului asincron ($U_{e2} I_{i1}$) — unde I_{i1} este valoarea efectivă a curentului rotoric a motorului asincron cu inele cu convertizor static în circuitul rotoric considerînd funcționarea idealizată (undă dreptunghiulară) — s-a arătat, într-o lucrare anterioară [3], că efectul convertizorului din circuitul rotoric se poate înlocui, în schemele echivalente, printr-o rezistență variabilă

$$R_\alpha = \left(R_2 + \frac{R_f}{2}\right)\frac{\pi^2}{9} - 1{,}35\,\frac{2}{\sqrt{3}}\,\frac{\pi}{3\sqrt{6}}\,\frac{s_m U_{20}}{I_{i1}}\cos\alpha, \tag{2}$$

unde R_f este rezistența bobinei de filtrare din circuitul curentului redresat ;

s_m — alunecarea maximă corespunzătoare unghiului de comandă maxim al invertorului ($\alpha = \alpha_m = 150°$) ;

U_{20} — tensiunea secundară de linie a motorului asincron (mers în gol și $s = 1$).

Relația (2) se poate pune și sub forma

$$R_\alpha = R_2 \frac{\pi^2}{9} + R_v\,. \tag{3}$$

Avînd în vedere că mașinile $m1$ și $m2$ (fig. 1) sînt identice rezultă :

$$R_{11} = R_{12} = R_1\,; \quad R'_{21} = R'_{22} = R'_2 \frac{\pi^2}{9}\,;$$

$$X_{\sigma 11} = X_{\sigma 12} = X_{\sigma 1}\,; \quad X'_{\sigma 21} = X'_{\sigma 22} = X'_{\sigma 2}$$

Notînd : $R_1 + \frac{R'_2}{9}\frac{\pi^2}{9} = R_c$;

$X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2} = X_c$ rezultă $\underline{Z}'_c = R_c + jX_c$.

Ținînd seama de acestea și de ipotezele simplificatoare introduse anterior ecuațiile de funcționare ale arborelui sînt :

$$U e^{j\theta} = \frac{R'_v}{s}\underline{I}'_R + \underline{Z}'_c \underline{I}'_{21} e^{j\theta}\,; \tag{4}$$

$$U = \frac{R'_v}{s}\underline{I}'_R + \underline{Z}'_c \underline{I}'_{22}\,; \tag{5}$$

$$\underline{I}'_R = \underline{I}'_{21} e^{j\theta} + \underline{I}'_{22}\,. \tag{6}$$

Pe baza ecuațiilor (4), (5) și (6) și utilizînd schema echivalentă a motorului asincron cu circuitul magnetizant scos la borne, în figura 2 este reprezentată schema echivalentă pe fază a arborelui electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare.

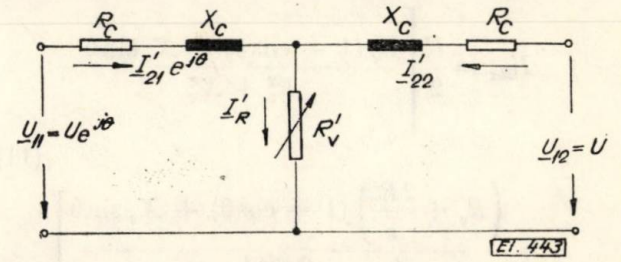


Fig. 2. Schema echivalentă pe fază a arborelui electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare.

3. Expresiile cuplurilor

Pentru a se determina expresiile cuplurilor celor două maşini asincrone trebuie obţinute expresiile componentelor active ale curenţilor rotorici $\underline{I}_{21}$ şi $\underline{I}_{22}$.

Înlocuind $\underline{I}'_{21}\,e^{j\theta}$ din (4) şi $\underline{I}'_{22}$ din (5) în relaţia (6) rezultă

$$\underline{I}'_{R} = U\frac{1+e^{j\theta}}{\underline{Z}'_c + 2\dfrac{R'_v}{s}}\cdot \tag{7}$$

Introducînd (7) în (4) se obţine

$$\underline{I}'_{21} = U\frac{\underline{Z}'_c + \dfrac{2R'_v}{s} - \dfrac{R'_v}{s}(1+e^{-j\theta})}{\underline{Z}'_c\left(\underline{Z}'_c + \dfrac{2R'_v}{s}\right)}\cdot \tag{8}$$

Relaţia (8) se mai poate pune şi sub forma

$$\underline{I}'_{21} = \frac{U}{2}\left(\frac{1-e^{-j\theta}}{\underline{Z}'_c} + \frac{1+e^{-j\theta}}{\underline{Z}'_c + 2\dfrac{R'_v}{s}}\right). \tag{9}$$

Componenta activă a curentului $\underline{I}'_{21}$ este

$$I'_{21a} = \mathrm{Re}\,(\underline{I}'_{21}) = \frac{\underline{I}'_{21} + \underline{I}'^{*}_{21}}{2},$$

unde $\underline{I}'^{*}_{21}$ este valoarea conjugată a curentului $\underline{I}'_{21}$. Rezultă

$$I'_{21a} = \frac{U}{2}\left[\frac{R_c(1-\cos\theta) + X_c\sin\theta}{R_c^2 + X_c^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{\left(R_c + \dfrac{2R'_v}{s}\right)(1+\cos\theta) - X_c\sin\theta}{\left(R_c + \dfrac{2R'_v}{s}\right)^2 + X_c^2}\right]. \tag{10}$$

În mod analog rezultă componenta activă a curentului $\underline{I}'_{22}$

$$I'_{22a} = \frac{U}{2}\left[\frac{R_c(1-\cos\theta) - X_c\sin\theta}{R_c^2 + X_c^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{\left(R_c + \dfrac{2R'_v}{s}\right)(1+\cos\theta) + X_c\sin\theta}{\left(R_c + \dfrac{2R'_v}{s}\right)^2 + X_c^2}\right] \tag{11}$$

Componenta activă a curentului rotoric cînd în circuitul rotoric se introduce pe fază rezistenţa $R_2\left(\dfrac{\pi^2}{9}-1\right)$ este

$$I'_{2ar} = U\frac{R_1 + \dfrac{R'_2}{s}\dfrac{\pi^2}{9}}{\left(R_1 + \dfrac{R'_2}{s}\dfrac{\pi^2}{9}\right)^2 + X_c^2} = U\frac{R_c}{R_c^2 + X_c^2}. \tag{12}$$

În cazul introducerii pe fază în rotor şi a rezistenţei $2R_v$ se obţine

$$I'_{2aR} = U\frac{R_c + \dfrac{2R'_v}{s}}{\left(R_c + \dfrac{2R'_v}{s}\right)^2 + X_c^2}\cdot \tag{13}$$

Fie s_{ce} şi s'_{ce} alunecările critice corespunzătoare:

$$s_{ce} = \frac{R'_2\dfrac{\pi^2}{9}}{\sqrt{R_1^2 + X_c^2}}; \tag{14}$$

$$s'_{ce} = \frac{R'_2\dfrac{\pi^2}{9} + 2R'_v}{\sqrt{R_1^2 + X_c^2}}\cdot \tag{15}$$

Termenii X_c/R_c şi $X_c/\left(R_c + \dfrac{2R'_v}{s}\right)$ se pot pune sub formele:

$$\frac{X_c}{R_c} = \frac{s\sqrt{1-(bs_{ce})^2}}{s_{ce}(1+bs)}; \tag{16}$$

$$\frac{X_c}{R_c + \dfrac{2R'_v}{s}} = \frac{s\sqrt{1-(b's'_{ce})^2}}{s'_{ce}(1+b's)}. \tag{17}$$

În relaţiile (16) şi (17) prin b şi b' s-au notat rapoartele

$$b = \frac{R_1}{R'_2\dfrac{\pi^2}{9}} \text{ şi } b' = \frac{R_1}{R'\dfrac{\pi^2}{9} + 2R'_v}.$$

Ţinînd seama de (12)...(17) relaţiile (10) şi (11) se pot pune sub forma

$$I'_{21a} = \frac{1}{2}\left\{I'_{2ar}\left[1-\cos\theta + \frac{s\sqrt{1-(bs_{ce})^2}}{s_{ce}(1+bs)}\sin\theta\right] + \right.$$

$$\left. + I'_{2aR}\left[1+\cos\theta - \frac{s\sqrt{1-(b's'_{ce})^2}}{s'_{ce}(1+b's')}\sin\theta\right]\right\}, \tag{18}$$

$$I'_{22a}=\frac{1}{2}\left\{I'_{2ar}\left[1-\cos\theta-\frac{s\sqrt{1-(bs_{ce})^2}}{s_{ce}(1+bs)}\sin\theta\right]+\right.$$
$$\left.+I'_{2aR}\left[1+\cos\theta+\frac{s\sqrt{1-(b's'_{ce})^2}}{s'_{ce}(1+b's)}\sin\theta\right]\right\}. \quad (19)$$

Se notează

$$M_r=k_m\Phi I'_{2ar}=\frac{2M_{cm}(1+bs_{ce})}{\frac{s}{s_{ca}}+\frac{s_{ce}}{s}+2bs_{se}} \quad (20)$$

şi

$$M_R=k_m\,\Phi\,I'_{2aR}=\frac{2M_{cm}(1+b's'_{ce})}{\frac{s}{s'_{ce}}+\frac{s'_{ce}}{s}+2b's'_{ce}} \quad (21)$$

Înmulţind relaţiile (18) şi (19) cu $k_m\Phi$ şi ţinînd seama de (20) şi (21) se obţin următoarele expresii pentru cuplurile maşinilor arborelui:

$$M_I=M_{cm}\left\{\frac{(1+bs_{ce})\left[1-\cos\theta+\frac{s\sqrt{1-(bs_{ce})^2}}{s_{ce}(1+bs)}\sin\theta\right]}{\frac{s}{s_{ce}}+\frac{s_{ce}}{s}+2bs_{ce}}+\right.$$
$$\left.+\frac{(1+b's'_{ce})\left[1+\cos\theta-\frac{s\sqrt{1-(b's'_{ce})^2}}{s'_{ce}(1+b's)}\sin\theta\right]}{\frac{s}{s'_{ce}}+\frac{s'_{ce}}{s}+2b's'_{ce}}\right\}; \quad (22)$$

$$M_{II}=M_{cm}\left\{\frac{(1+bs_{ce})\left[1-\cos\theta-\frac{s\sqrt{1-(bs_{ce})^2}}{s_{ce}(1+bs)}\sin\theta\right]}{\frac{s}{s_{ce}}+\frac{s_{ce}}{s}+2bs_{ce}}+\right.$$
$$\left.+\frac{(1+b's'_{ce})\left[1+\cos\theta+\frac{s\sqrt{1-(b's'_{ce})^2}}{s'_{ce}(1+b's)}\sin\theta\right]}{\frac{s}{s'_{ce}}+\frac{s'_{ce}}{s}+2b's'_{ce}}\right\}. \quad (23)$$

4. Rezultate experimentale

Schema instalaţiei experimentale realizate este reprezentată în figura 3.

Înainte de pornirea instalaţiei se aduc axele înfăşurărilor rotorice ale maşinilor $m1$ şi $m2$ în aceeaşi poziţie în raport cu axele cîmpurilor statorice. Aceasta se realizează alimentînd în monofazat statoarele motoarelor asincrone(întreruptorul a deschis şi contactorul $c1$ anclanşat). Pornirea instalaţiei se realizează prin anclanşarea contactorului $c1$ şi $c2$ (întreruptorul a închis şi reostatul de pornire R_p pe poziţia de rezistenţă maximă). Se realizează astfel pornirea ca în sistemul arborelui electric cu reostat comun. Cînd turaţia se stabilizează se comandă anclanşarea contactorului $c4$ şi apoi a contactorului $c3$, simultan cu declanşarea lui $c2$. În această situaţie se realizează funcţionarea arborelui electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare. Prin modificarea unghiului de comandă α a invertorului $n2$ se modifică, fără pierderi, turaţia arborelui. Pentru schema de comandă a invertorului s-au utilizat modulele sistemului de reglare unificat pentru procese rapide UNIDIN ce se fabrică în ţara noastră [4].

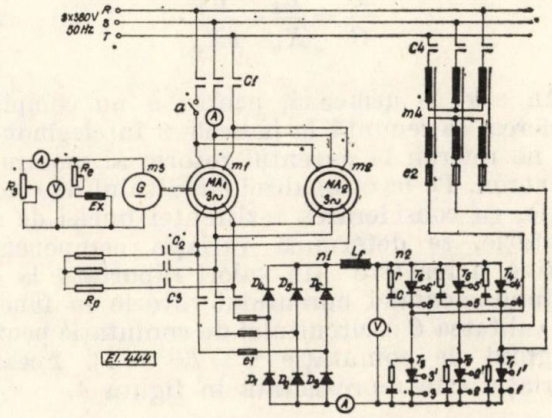


Fig. 3. Schema instalaţiei experimentale.

Maşinile instalaţiei experimentale au fost :

— motoarele asincrone $m1$ şi $m2$; 3 kW ; 220/380 V ; 13,9/8A ; 920 rot/min ; $\cos\varphi = 0{,}69$; $U_{20} = 76$ V ; $I_2 = 26{,}3$ A ;

— generatorul $m3$: $U_N = 170$ V ; $I_N = 20$ A ; 1500 rot/min.

Din datele de catalog şi din încercările motorului asincron au rezultat : $k = \sqrt{20} = 4{,}47$; $R_1 = 1{,}87\Omega$; $R'_2 = 2{,}27\Omega$; $X_{\sigma 1} = 2{,}18\Omega$; $X'_{\sigma 2} = 2{,}67\ \Omega$.

Pentru determinarea rezistenţei R_α, variabilă cu alunecarea şi cu unghiul α de comandă a invertorului, se ţine seama că în cazul redresorului alimentat de la circuitul rotoric al motorului asincron rezistenţa circuitului de comutaţie nu se mai poate neglija (ca în teoria clasică a redresării) iar raportul dintre reactanţa şi rezistenţa circuitului de comutaţie ia valori în intervalul numerelor reale pozitive (0.... ... ∞). Maşina asincronă în rotaţie poate fi considerată ca un transformator în scurtcircuit cu rezistenţa secundară pe fază R_2/s şi alimentat în primar pe fază cu tensiunea U_1. Considerînd raportul de transformare egal cu unitatea ($k = 1$) rezultă un circuit cu reactanţă constantă $X_\sigma = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}$ şi rezistenţă variabilă cu alunecarea. Locul geometric al vîrfului fazorului curent secundar este un cerc cu diametru $I_D = U_1/X_\sigma$. În vederea unei aplicări generale, în locul parametrului s se introduce

factorul de calitate C al circuitului de comutație [3]. Legătura dintre C și s este [3]

$$\frac{1}{C} = \frac{R_1}{X_\sigma} + \frac{R_2}{sX_\sigma}. \qquad (24)$$

În cele ce urmează, pentru a nu complica scrierea, se renunță la indicele 2 înțelegîndu-se că ne referim la curentul rotoric al motorului asincron. Pe baza analizei circuitului de comutație, cu considerarea rezistenței buclei de comutație, se determină variația componentei active și reactive (în valori raportate la I_D) a fundamentalei curentului rotoric în funcție de calitatea C a circuitului de comutație pentru unghiul de comutație $\gamma = 60°$ [3]. Această variație este reprezentată în figura 4.

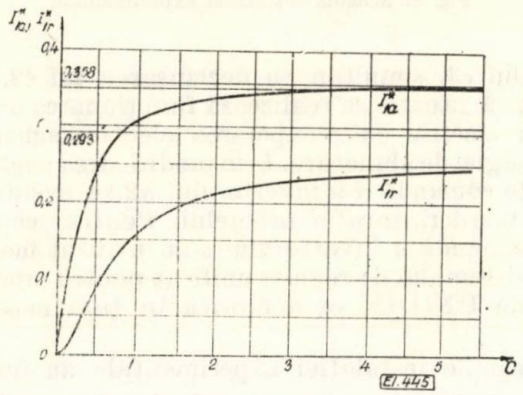


Fig. 4. Curbele $I^*_{1a}(C)$ și $I^*_{1r}(C)$ pentru $\gamma = 60°$.

Pentru motoarele arborelui variația $C(s)$ este reprezentată în figura 5.

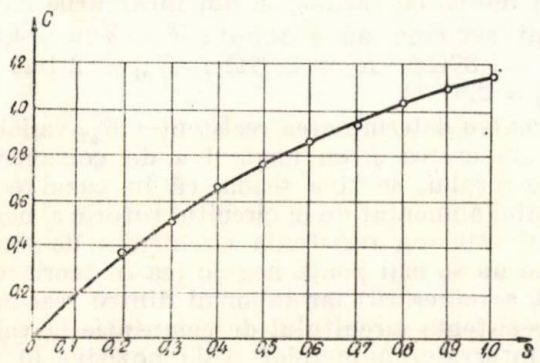


Fig. 5. Caracteristica $C(s)$.

Pentru o alunecare oarecare s, deci pentru un anumit factor de calitate a circuitului de comutație C (fig. 5) se determină valoarea efectivă a fundamentalei curentului rotoric (valori raportate la I_D) $I_1^* = \sqrt{I_{1a}^{*2} + I_{1r}^{*2}}$ și deci $I_1 = I_1^* I_D$. Din relația (2), înlocuind I_{i1} cu I_1 (pentru a ține seama de comutația reală a redresorului alimentat de la circuitul rotoric al motorului asincron) și ținînd seama de raportul de transformare a motorului asincron k, se determină familia de caracteristici $R_\alpha(s)$ reprezentată în figura 6.

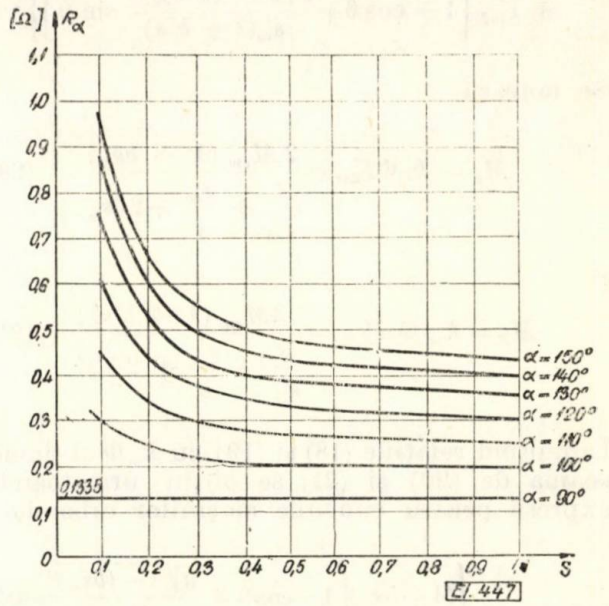


Fig. 6. Curbele $R_\alpha(s)$ pentru diferite unghiuri de comandă.

Cu ajutorul diagramelor din figurile 5 și 6 se determină mărimile din relațiile (22) și (23). Datele necesare trasării grafice a variației $\frac{M_I}{M_{cm}}(\theta)$ și $\frac{M_{II}}{M_{cm}}(\theta)$ sînt sintetizate în tabelul 1.

Tabela 1

s	0,320	0,420	0,5
$\alpha°$	100	105	110
R'_v [Ω]	1,7133	2,3133	2,8953
s_{ce}	0,4782	0,4782	0,4782
b	0,7519	0,7519	0,7519
s'_{ce}	0,1371	0,3679	1,5917
b'	0,3162	0,2628	0,2259

Utilizînd relațiile (22) și (23) și datele din tabelul 1 se calculează, în valori relative, cuplurile electromagnetice ale mașinilor asincrone $m1$ și $m2$ (fig. 1) pentru α variabil. Calculele au fost efectuate la un calculator Olivetti Programma 101. Caracteristicile statice $\frac{M_I}{M_{cm}}(\theta)$ și $\frac{M_{II}}{M_{cm}}(\theta)$ sînt reprezentate în figura 7.

Domeniul de modificare a turației pentru variația maximă a unghiului de comandă a

invertorului depinde de raportul de transformare a transformatorului de adaptare [5]. Ţinînd seama de transformatorul avut la dispoziţie

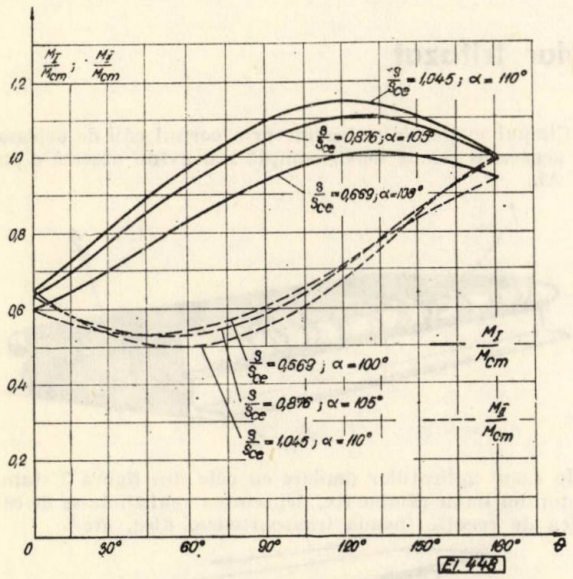


Fig. 7. Caracteristicile statice $\frac{M_I}{M_{cm}}$ (θ) şi $\frac{M_{II}}{M_{cm}}$(θ) pentru : α = 100; α = 105 şi α = 110°

(raport de transformare 380/83), cu instalaţia experimentală realizată s-a obţinut la gol un domeniu de modificare a turaţiei de cca. 2 :1 pentru α ∈ (90°...110°).

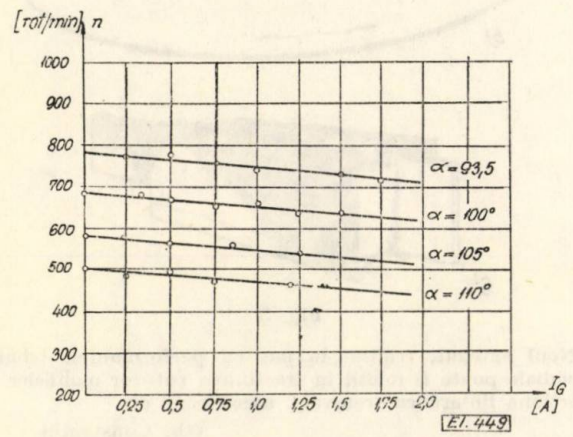


Fig. 8. Caracteristicile $n(I_G)$ pentru : α = 93,5° ; α = 100 ; α = 105° şi °α = 110°.

Pentru a se obţine un dezechilibru pronunţat între încărcările celor două axe ale arborelui electric, în instalaţia experimentală s-a încărcat numai axul I cu ajutorul generatorului *m*3 (fig. 3).

Variaţia turaţiei celor două axe ale arborelui electric, care se rotesc sincron, în funcţie du curentul I_G al generatorului de sarcină, pentru diverse valori ale unghiului de comandă α, este reprezentată în figura 8.

5. Concluzii

Recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare permite realizarea unui sistem de rotaţie sincronă (arbore electric) recuperativ avantajos pentru instalaţii de puteri mari şi foarte mari la care energia de alunecare este importantă.

Plecînd de la o schemă menţionată în literatura tehnică de specialitate ca fiind posibilă de realizat [1] şi cunoscînd parametrii motoarelor asincrone de antrenare şi raportul de transformare a transformatorului de adaptare se deduc ecuaţiile de funcţionare şi schema echivalentă simplificată a arborelui electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare.

Pe baza schemei echivalente şi a ecuaţiilor de funcţionare se determină expresiile cuplurilor maşinilor asincrone.

Prin variaţia unghiului de comandă a invertorului se poate modifica continuu şi fără pierderi turaţia arborelui la valori constante ale cuplului static rezistent.

Instalaţia experimentală realizată confirmă proprietatea de arbore electric şi permite determinarea caracteristicilor statice $\frac{M_I}{M_{cm}}$(θ) şi $\frac{M_{II}}{M_{cm}}$(θ).

Bibliografie

[1] *Sandler, A.* . Regulirovanie skorosti vraşcenia moşcinih dvigatelei. Moscova-Leningrad, Izdatelstvo 1966, 315 pag.

[2] *Andreev, B. L.* şi *Sabinin, Iu. A.* Osnovi elektroprivoda. Moscova-Leningrad, Gosenergoizdat, 1963, 765 pag.

[3] *Ţopa, Iulian.* A Method of Determining an Equivalent Circuit of the Asynchronous Motor with Electrical Recovery of Slip Energy. In : Buletinul Universităţii din Braşov, seria A-Mecanică, vol. XIV, 1972, p. 181—191.

[4] *Weinrich, G.* ş.a. Sisteme de reglare unificate pentru procese rapide. Vol. *I* şi *II*. Bucureşti, Editura tehnică.

[5] *Meyer, Manfred.* Über die Untersynchrone Stromrichterkaskade. In : E.T.Z.-A, 82, nr. 19, 1961, p. 589—596.

Intrat în redacţie la 13.XII.1972

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE

Motorul electric liniar trifazat

Uzina ELECTROMOTOR oferă beneficiarilor, pentru prima dată în țară, motorul liniar asincron trifazat, destinat acționărilor industriale.

Diversificarea acționărilor electrice, necesitatea reducerii prețului de cost și a creșterii fiabilității acestora, impune printre altele introducerea operativă și pe scară largă a noilor realizări în domeniul mașinilor electrice. Din categoria realizărilor actuale, de perspectivă în ameliorarea parametrilor acționărilor electrice, fac parte și motoarele electrice liniare (fig. 1). Aplicarea acestora permite reducerea gabaritului instalațiilor, eliminarea elementelor de transmisie, obținerea unor caracteristici funcționale îmbunătățite, creșterea fiabilității instalațiilor.

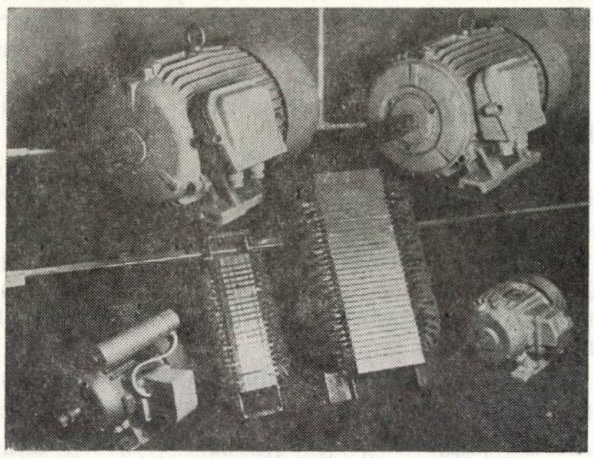


Fig. 1

Motorul liniar are o construcție simplă și robustă, nu conține părți supuse uzurii. Funcționarea este silențioasă și lipsită de vibrații. Experimentat într-o hală industrială a uzinei, utilajul s-a comportat ireproșabil la manevrarea unui pod rulant cu greutate de pînă la o tonă. Motorul liniar se prezintă sub forma unor module de tracțiune care se încadrează într-o gamă de tipodimensiuni. Acționările care reclamă o forță de tracțiune de valoare ridicată vor fi înzestrate cu un număr de module corespunzătoare. Un modul de tracțiune (fig. 2) este format dintr-un miez magnetic 1, pe care se aplică înfășurarea trifazică 2.

Cîmpul magnetic se închide prin corpul căii de deplasare, în general o grindă de OL simplă sau avînd atașată o placă de Al.

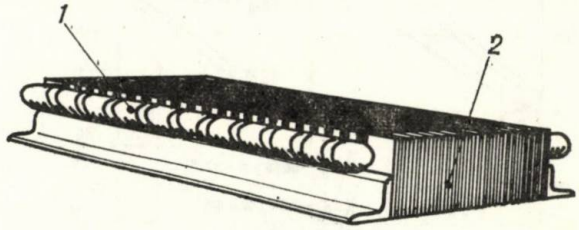


Fig. 2

În cazul aplicațiilor similare cu cele din figura 3 statorul motorului liniar rămîne fix, deplasarea realizîndu-se de către calea de reacție (banda transportoare, disc, etc.).

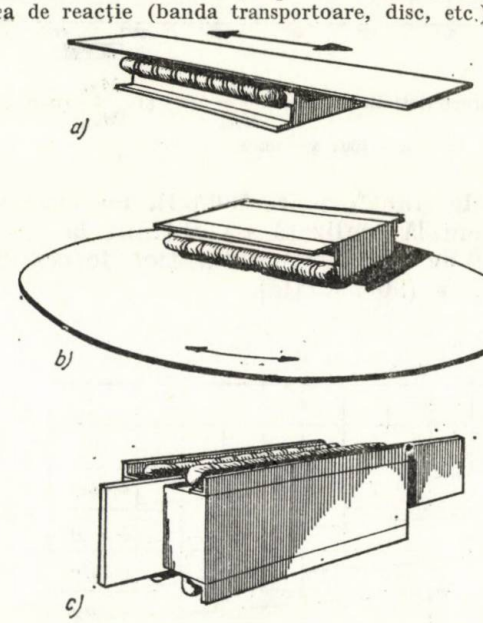


Fig. 3

Noul agregat, realizat în pas cu performanțele tehnicii mondiale poate fi folosit în tracțiunea tuturor mobilelor cu tracțiune liniară ca tramvaie, ascensoare etc.

Gh. Constantin

DIN ACTIVITATEA DE CERCETARE

Laboratorul de electrofizică al I.C.P.E.

Recent a fost creat şi dat în folosinţă în cadrul ICPE un laborator de electrofizică, avînd ca profil executarea unei largi game de încercări asupra materialelor eelctrotehnice, necesare activităţii de studii şi cercetări din ICPE şi din alte sectoare ale economiei naţionale. Prin amenajarea acestui laborator s-au pus în funcţiune aparate, instalaţii şi utilaje de laborator, care pînă nu de mult nu erau în funcţiune, sau funcţionau în condiţii nesatisfăcătoare în alte laboratoare, exploatate la parametrii scăzuţi şi cu randamente tehnice sub posibilităţile efective ale aparatelor şi instalaţiilor respective.

Crearea noului laborator de electrofizică permite de asemenea efectuarea de cercetări şi experimentări în domeniul materialelor electrotehnice (folii, stratificate, ş.a.) cablurilor de energie, ş.a. Încercările şi măsurătorile care se realizează în laborator se pot, în principal, împărţi în următoarele grupe :

— încercări şi măsurători electrice pentru determinarea caracteristicilor unor materiale electrotehnice ca : hîrtii şi cartoane electrotehnice, folii şi benzi izolatoare cu utilizări în industrie electrotehnică şi electronică ;

— încercări şi măsurători în vederea omologării stratificatelor placate cu cupru ;

— încercări electrice şi mecanice ale benzilor izolatoare şi ale benzilor de fretare şi de contracţie, ce intră în componenţa schemelor de izolaţie ale maşinilor electrice ;

— încercări de anduranţă la cabluri şi conducte electrice ;

— încercări mecanice la mase plastice şi materiale plastice rigide la temperaturi, cuprinse între -60 şi $+100°C$;

— încercări de rigiditate dielectrică în curent continuu şi în curent alternativ pînă la tensiunea de 125 kV ;

— încercări electrice şi mecanice în vederea elaborării unor noi tehnologii la cabluri şi conducte ca de exemplu a cablurilor şi conductelor navale şi de aviaţie ;

— încercări şi măsurători pentru caracterizarea materialelor electroizolante lichide, ca uleiuri electroizolante, minerale sau sintetice ;

— încercări electrice ale izolaţiilor din prafuri şi pulber electrotehnice pe bază de răşini sintetice ;

— încercări electrice şi mecanice la izolatori şi piese izolatoare din aparatura de comandă şi control ;

— măsurări de rezistenţe specifice, rezistenţă de volum şi de suprafaţă ;

— măsurări ale tangentei unghiului de pierderi şi constantei dielectrice ;

— măsurări a unor materiale supuse unor încercări complexe la durata de viaţă, condiţionări şi încercări în diferite medii de funcţionare ;

— măsurători şi încercări ale materialelor iradiate, ş.a.

Pe lîngă măsurătorile menţionate, laboratorul electrofizic poate efectua de asemenea încercări specifice la care sînt supuse unele materiale electrotehnice ca :

— încercarea la abraziune a conductelor electrice emailate ;

— încercarea rezistenţei la şoc ;

— determinarea rezistenţei la încovoierea prin şoc a materialelor plastice rigide ;

— încercarea la încovoierea statică a materialelor plastice rigide la temperatura ambiantă.

Pentru efectuarea încercărilor sus-menţionate laboratorul are în dotare :

— maşini de încercat materiale plastice la frig, avînd ca agenţi de răcire Freon 22 şi ulei special ;

— instalaţii pentru analizele termogravimetrice ale materialelor electrotehnice de tip derivatograf ;

— instalaţiile de încercat la tracţiune folii şi hîrtii electrotehnice, materiale electrotehnice stratificate rigide (fig. 1) ;

— instalaţii pentru măsurat tangenta unghiului de pierderi la frecvenţe ridicate ;

— cameră de frig pentru condiţionări în vederea încercărilor unor materiale electrotehnice şi cabluri electrice speciale pînă la $-60°C$;

— aparatură de precizie pentru măsurarea grosimii foliilor electrotehnice ;

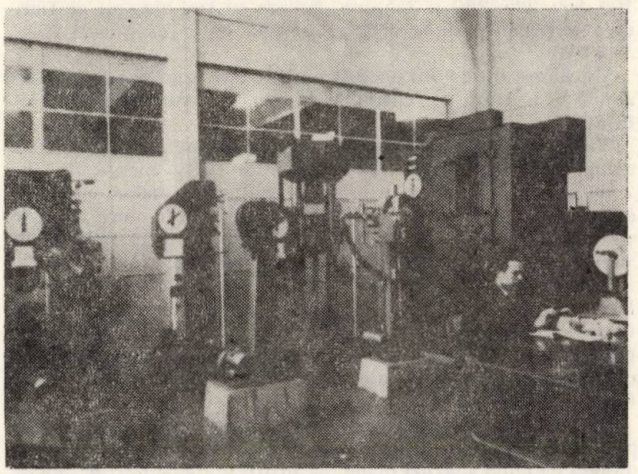


Fig. 1

— aparatură de înregistrare a regimurilor de lungă durată ;

— osciloscop cu remanenţă, şi înregistrare pe peliculă ;

— seturi de electrozi şi celule de măsură, conform normelor româneşti şi străine de mare circulaţie ;

Ţinînd seama de dotarea şi posibilitatea noului laborator au fost iniţiate şi cercetări care vor fi continuate în anii următori privind :

— verificarea duratei de viaţă a materialelor electrotehnice şi a cablurilor electrice ;

— verificarea rezistenţei la agenţi chimici a materialelor plastice şi cablurilor electrice, pentru fundarea procedeelor de protecţie anticorozivă a acestora ;

— verificarea rezistenţei la foc a cablurilor electrice singulare sau în grup, în funcţie de condiţiile de iniţiere a pericolului de incendiu (în mediu ambiant, în canale de beton ventilate sau neventilate) ;

— determinarea pragului de ionizare a cablurilor de energie din gama de tensiuni de 6—10 kV, conform normelor internaţionale şi pe baza unor cercetări proprii ;

— determinarea rezistenţei la şoc a materialelor plastice şi ebonitei, pe epruvetele obţinute prin presare, comprimare şi injecţie, în funcţie de sistemul de prindere a fiecărei epruvete, la temperatura de $20 \pm 2°C$ şi umiditatea relativă de 40...60%.

— încercări la încovoiere statică a materialelor plastice, pe epruvete sub formă de prismă dreptunghiulară, rezemată la capete în plan normal ; încercările ce se efectuează se fac cu determinarea rezistenţei admisibile şi a modulului de elasticitate a materialelor respective.

Considerăm că prin organizarea noului laborator electrofizic în ICPE se creează premisele efectuării unor importante cercetări cu posibilităţi de valorificare în diferite ramuri industriale, în care sînt utilizate materialele electrotehnice.

Ing. *Constantin Cruceru*

REFERATE

CZ621.313 *Mașini electrice*

CZ 621.313.2.026.442/443

Koch, H. — **Noile mașini de curent continuu în gama de puteri de la 12 la 550 kW, 1500 rot/min.** (Nouvelles machines a courant, continu dans la gamme de puissances de 12 à 550 kW, 1500 tr/min) In : Revue Brown Boveri, vol 59, nr. 12, dec. 1972, p. 597—601.

Noua serie cuprinde mașinile avînd înălțimile axelor de 160, 200, 225, 280 și 355 mm, fiecare cu trei lungimi de fier, ceea ce permite să se acopere perfect gama de puteri 15—550 kW.

Tensiunea indusului acestor mașini este cuprinsă între 220 și 660 V, în timp ce tensiunile de excitație variază de la 110 la 300 V.

Viteza de rotație a mașinilor, avînd mărimile G 160 și 280, atinge 3000 rot/min iar cea a mașinilor G 355 merge pînă la 2400 rot/min. În ceea ce privește înălțimea axelor, capetele arborilor și cotele de montaj, acestea respectă în mare măsură recomandările CEI 72—1 și 72—2, valabile pentru motoarele de curent alternativ de puteri asemănătoare.

Forma de bază cuprinde mașina cu ventilație prin ventilator exterior, fără alte elemente suplimentare cum ar fi filtre, schimbătoare de căldură pentru răcire cu aer sau apă, canale de ventilație, dinamuri tachometrice, întreruptoare centrifugale, frîne, relee de frînare, care pot fi adăugate în diverse combinații.

Pentru dimensionarea electrică s-a plecat de la alimentarea prin aparate statice. Forma exterioară a mașinilor este determinată de două scuturi plane, de profil aproape pătrat. Mașinile sînt realizate fără carcasă, soluție care permite utilizarea maximă a spațiului în direcție radială. Lagărele sînt realizate cu rulmenți cu bile, normali. În caz de solicitări mari se pot utiliza rulmenți cu role. Variația rapidă de viteză ce se impune acestor mașini se obține, din punct de vedere mecanic, printr-un moment de inerție redus al rotorului, iar electric, printr-o constantă de timp redusă. Ca urmare, chiulasa, polii principali și auxiliari sînt formați din tole, ceea ce permite o variație rapidă a cîmpului magnetic. Izolația înfășurărilor este de clasă F. Pentru mărimea G 355 se prevede o înfășurare de compensație.

T.C.

CZ 621.313.2.045.34

Dobșa, I., Huber, F. **Inductanța de compensare cu și fără înfășurare de putere suplimentară.** (Inductances de compensator sans et avec enroulement de puissance supplémentaire). In : Revue Brown Boveri, vol. 59, aug. 1972, nr. 8, p. 410—415.

Inductanțele de compensare (bobinele de reactanță) sînt constituite cu scopul de a le utiliza pentru compensarea puterii reactive capacitive a liniilor de înaltă tensiune trifazate. Prin utilizarea lor se urmăresc mai multe scopuri : creșterea stabilității transportului de energie, reducerea supratensiunilor de frecvență nominală și tranzitorii în rețea, reducerea autoexcitației alternatoarelor în timpul punerii sub tensiune a liniilor în gol. Gradul de compensare a liniilor este determinat de factori economici și tehnici. Principalii factori tehnici sînt : configurația rețelei, lungimea liniei, nivelul de izolație și supratensiunile. Un grad de compensare de 60—70 % este considerat astăzi normal. Pe o linie de 765 kW s-au făcut încercări cu un grad de compensare de 100 %. Racordarea bobinelor la rețea se poate face prin intermediul înfășurărilor terțiare ale transformatoarelor (la tensiuni nominale de la 10 la 60 kW) sau direct la linia de înaltă tensiune. În comparație cu un transformator, bobinele de compensare au următoarele proprietăți speciale : în timpul unei supratensiuni în rețea caracteristica de magnetizare trebuie să aibă o formă determinată ; la tensiunea maximă a rețelei cantitatea de armonici în curentul de fază nu trebuie să depășească o valoare determinată ; zgomotul și vibrațiile trebuie să facă obiectul unei atenții speciale. Pentru evitarea vibrațiilor ca element de distanțare în întrefierurile elementare trebuie utilizate piese din material dur. Măsurile constructive care se pot lua permit reducerea zgomotului și vibrațiilor la nivelul celor atinse în transformatoare. În cazul în care e prevăzută cu o înfășurare suplimentară, bobina poate fi utilizată ca transformator pentru alimentarea instalațiilor în posturile de transformare.

T.C.

CZ 621.313.333.2.042.12 : 534.5

Novacek, M. **Reducerea nivelului de zgomot al motoarelor cu colivie cu număr mic de poli, de putere medie.** (Reduction du niveau de bruit des moteurs a cage a petit nombre de pôles, de puissance moyenne). In : Revue Brown Boveri, vol. 59, dec. 1972, nr. 12, p. 582—584.

O sursă importantă de zgomot, în mașinile electrice de mică putere, o pot constitui lagărele de rulmenți. În motoarele de putere medie și mare zgomotul este de origine magnetică și aerodinamică. Zgomotul de origine magnetică este datorat acțiunii cîmpurilor magnetice în întrefierul mașinii : forțele în întrefier variind periodic în timp și în spațiu deformează pachetul de tole al statorului și produc vibrații transmise la carcasă și scuturi. O parte din energia de vibrație se transformă în energie acustică și este radiată în mediul ambiant sub formă de unde de presiune. Zgomotul de origine aerodinamică este produs de părțile învîrtitoare și în special de ventilator, reprezentînd o bandă spectrală largă.

În prezent se cunosc măsurile constructive ce trebuie luate pentru a reduce atît zgomotul de origine magnetică cît și pe cel de origine aerodinamică. Noua serie de motoare Q0 răspunde exigențelor relative la limitarea nivelului de zgomot. Gama de puteri a acestor motoare se întinde de la 400 la 10 000 kW și este în execuție cu patru poli. Pentru a reduce nivelul de zgomot s-a ales cu grijă numărul de crestături iar componenta aerodinamică a fost adusă la un nivel foarte mic prin prevederea unui dispozitiv de amortizare a zgomotului, reprezentînd o soluție eficace și ieftină. Acest dispozitiv de amortizare este în realitate o cutie de tablă, montată la partea superioară a mașinii, avînd două compartimente. Fiecare compartiment posedă o structură internă simplă care face să devieze de mai multe ori curentul de aer. Pereții verticali ai celor două compartimente sînt căptușiți cu un material absorbant, care produce amortizare prin absorbție.

T.C.

CZ 621.313.1 — 584 Combi

Müller, I., Reichle, W. **Motorul Combi, un motor pentru condițiile de pornire dificile din instalațiile de joasă tensiune.** (Le moteur Combi, un moteur pour les conditions de demarage difficiles dans les instalations BT. In : Revue Brown Boveri vol. 59, dec. 1972, nr. 12, p. 585—590.

Datorită simplității sale, economiei pe care o realizează, fiabilității și nevoilor reduse de întreținere, motorul trifazat cu colivie este cel mai adesea utilizat. Inconvenientul acestui motor este curentul mare de pornire. Motorul cu inele permite un demaraj la curent mai mic, dar, periile și inelele necesită o anumită întreținere. Dacă există dispozitiv de scurt-circuitare, el trebuie acționat la fiecare pornire. Dacă se automatizează procesul de pornire rezultă cheltuieli suplimentare. Construcția motorului Combi a permis să se ajungă la un curent de pornire redus, un cuplu de pornire bun și o simplitate convenabilă. Acest motor reunește caracteristicile dorite ale motorului în colivie și ale motorului cu rotor bobinat, evitînd în același timp inconvenientele lor. Denumirea Combi indică faptul că este vorba de o combinație a acestor două tipuri de motoare.

Particularitatea acestui motor constă în aceea că rotorul său este echipat cu două înfășurări : o înfășurare în colivie

cu rezistență ridicată, care permite o bună evacuare a căldurii și o înfășurare izolată, prevăzută cu un dispozitiv de pornire centrifugal. Înfășurarea rotorică izolată, construită cu aceea a unui rotor bobinat, este legată la rezistențe solidare cu rotorul, care sînt scurt-circuitate una după alta de către comutatorul centrifugal cu contacte cu bile. Instalația, este la fel de simplă ca cea a unui motor cu colivie pentru cuplare directă. Cînd motorul este oprit, contactele cu bile ale dispozitivului centrifugal de pornire ca și înfășurarea izolată, sînt deschise, astfel încît pornirea este asigurată numai de înfășurarea în colivie, cu rezistență ridicată și care asigură cuplul de pornire necesar. Contactele dispozitivului centrifugal încep să intre succesiv în funcționare, numai după atingerea a 60% din viteza nominală. Înfășurarea în colivie este astfel dimensionată încît $I_p = 260\% I_n$, iar $C_p = 180\% C_n$.

T.C.

CZ 621.315.6 ***Materiale izolante***

CZ 621.315.613.1.001.2

S c h u l e r, R. **Rezultate obținute cu sistemul de izolație micadur-compact** (Résultats obtenus avec le systéme d'isolation micadur-compact). In : Revue Brown Boveri, vol. 59, nr. 12, dec 1972, p. 577—581.

Sistemul de izolare micadur-compact reprezintă o extindere a sistemului micadur la mașinile de putere medie. Cu noul sistem de izolație au fost construite mai mult de 1000 de mașini, pentru tensiuni variind între 1,0 și 13,8 kV. Datorită bunelor rezultate obținute în exploatare și în laborator, noul sistem de izolație va fi extins la tensiuni, mai mari pentru a putea elimina transformatorul de adaptare. Izolația conductorului este compusă din înfășurare de fir de sticlă în mai multe straturi, impregnată cu rășină sintetică sau cu bandă de mică-sticlă.

Pentru realizarea izolației principale, fasciculul de conductori este înfășurat pe toată lungimea, în mod continuu, cu mai multe straturi de bandă mică-sticlă. Se obține o înfășurare densă și regulată, chiar cînd forma bobinei este complicată. Bobinajele, gata de a fi montate în crestătură, sînt prevăzute cu dispozitive antiefluvii adaptate la tensiunea nominală a mașinii. După uscarea în cuptor, statorul bobinat este introdus în cuva de impregnare, în care se face apoi vid. Pentru impregnare se introduce în cuvă o rășină epoxidică modificată, care acoperă complet înfășurarea. După un anumit timp se aplică o presiune ridicată pe suprafața băii, pentru a activa penetrația rășinii în izolație și elementele de împănare și de fixare. În final, rășina de impregnare este întărită la temperatură ridicată. Se obține astfel atît o izolație uniformă și regulată, cît și o împănare a capetelor de bobină rigidă și fără joc. Introducerea tehnicii de impregnare globală a impus adaptarea tehnicii de încercare la izolația care a rezultat. Astfel, se fac atît încercări de străpungere, înainte de impregnare și după impregnare, se măsoară factorul de pierderi și uneori, pentru observații, descărcările parțiale.

T.C.

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

A 24-a sesiune CIGRE

Prezentarea generală

Între 28 august și 6 septembrie 1972 a avut loc la Paris cea de a 24-a sesiune CIGRE, la care au participat circa 2500 de delegați din 50 de țări.

Delegația țării noastre, formată din 7 persoane, a fost condusă de tovarășul A. Georgescu , adjunct al Ministrului Energiei Electrice, președintele Comitetului Național Român, membru în Consiliul de Administrație CIGRE.

Sesiunea a avut un caracter festiv, marcînd a 50-a aniversare a asociației. La ședința festivă de deschidere a fost invitat tovarășul Octavian Groza, președintele Conferinței Mondiale a Energiei. Această ședință a avut loc în ziua de luni, 28 august 1972, fiind prezidată de delegatul guvernului francez.

În discursurile rostite s-a subliniat rolul jucat de CIGRE în progresul tehnic al marilor rețele electrice de înaltă tensiune în cursul celor 50 de ani de activitate.

Delegația țării noastre a avut o activitate tehnico-științifică și administrativă în cadrul lucrărilor pe grupe ale sesiunii, în Comitetele de Studii și în grupele de lucru ale acestora, în cadrul Adunărilor Generale.

La această sesiune au avut loc ședințe ale următoarelor grupe de lucru : 11 — Mașini turnate ; 12 — Transformatoare ; 13 — Aparataj de întrerupere ; 14 — Material de transformare alternativ continuu ; 15 — Materiale izolante ; 21 — Cabluri izolate de înaltă tensiune ; 22 — Linii aeriene ; 23 — Stații ; 31 — Rețele de transport ; 32 — Planificarea și exploatarea rețelelor ; 33— Supratensiuni și coordonarea izolării ; 34 — Protecția, automatizarea și echipamentele de telecomandă ; 35 — Teletransmisiuni ; 36 — Perturbații.

În cele ce urmează se vor prezenta aspectele mai importante dezbătute în cadrul grupelor de lucru, participarea delegaților români la Comitetele de Studii, ședințele adunărilor generale, ale Consiliului de Administrație, vizitele tehnice precum și concluzii mai deosebite desprinse în cadrul sesiunii.

Prezentarea problemelor mai deosebite din cadrul grupelor de lucru ale sesiunii

S-au prezentat 7 rapoarte, printre care raportul românesc „Funcționarea în regimuri anormale și speciale a hidrogeneratoarelor de mare putere și viteză mică de rotație" de L. Groza, C. Crețu, C. Opaschi, A. Vreme, C. Zlatenovici.

Atît rapoartele cît și intervențiile în ședințe s-au raportat la : funcționarea în asincron a turboalternatoarelor ; concepții noi în legătură cu turboalternatoarele de foarte mare putere destinate centralelor nucleare ; probleme de excitație și protecție a generatoarelor de foarte mare putere. Se pot observa evoluții noi, în legătură cu generatoarele de mare putere ce se introduc cu avantaje economice în instalațiile moderne în momentul de față. S-a subliniat contribuția românească privind utilizarea în exploatare a hidrogeneratoarelor de mare putere pentru reglajul tensiunii în sistemele electroenergetice, utilizînd funcționarea în regim subexcitat.

Grupa 12 — Transformatoare

Au fost prezentate 11 rapoarte privind problema de concepție și exploatare în legătură cu încălzirea, arătîndu-se cîteva posibilități de studii sistematizate asupra realizării înfășurărilor și a problemelor de probe legate de acestea și comparări între calcule și măsurători privind încălzirile datorate pierderilor suplimentare. Rezistența la scurtcircuite a adus de asemenea cîteva elemente noi pentru explicarea avariilor prin examinarea tuturor parametrilor ce pot interveni. De asemenea s-au arătat elemente noi apărute în legătură cu concepția, fabricarea, încercările și transportul transformatoarelor și bobinelor shunt de tensiuni 1000 și 1 500 kV, de puteri între 1 000 și 3 000 MVA, estimînd condițiile cerute de viitoarele rețele de transport în curent alternativ.

Grupa 13 — Aparataj de întrerupere

Atît conținutul celor 11 rapoarte prezentate, cît și discuțiile au considerat în special problemele de fiabilitate a întreruptoarelor și a fenomenelor fizice ce au loc în momentul tăierii curentului (fenomenele tranzitorii, trecerea prin zero a curentului în momentul tăierii, probleme de simulare a fenomenului etc.).

Grupa 14 — Material de conversiune alternative-continuu

S-au prezentat 8 rapoarte. Subiectele discutate au fost: Convertizoare cu tiristori; Simulatori hibrizi pentru transporturi în curent continuu; Descrieri de instalații și încercări pentru stații de conversiune curent continuu-curent alternativ; Probleme noi în legătură cu stații multi-terminale de conversiune curent continuu-curent alternativ. Se poate observa o serie de dezvoltări noi cu scopul de coborîre a prețurilor instalațiilor și determinarea poziției exacte către care evoluează asemenea instalații. Părerile nu par încă unificate.

Grupa 15 — Materiale izolante S-au prezentat 6 rapoarte. În privința materialelor izolante ameliorate (performanțe, dificultăți, încercări etc.) s-au analizat în special ansambluri de filme termoplastice gazoase și lichide pentru cabluri, transformatoare etc., subliniindu-se posibilitățile de aplicare. S-au arătat aspecte noi ale condensatoarelor dielectrici plastici cu un nivel superior față de cele cu hîrtie impregnată. Problema stabilității termice pare complet rezolvată existînd rezerve doar în privința unor avarii posibile ca urmare a descărcărilor parțiale.

Aplicarea rășinilor mulate la materialele de înaltă tensiune a realizat de asemenea un progres deosebit datorită proprietăților mecanice și electrice ale acestor care fac să se întrevadă soluții deosebit de interesante privind viitoarele linii și echipamente de înaltă tensiune.

Grupa 21 — Cabluri izolate de înaltă tensiune. S-au prezentat 10 rapoarte și intervenții ce completau prezentările din rapoarte. Problemele principale discutate s-au raportat la: Cabluri subterane de foarte înaltă tensiune (500 kV — Japonia pentru transporturi masive de energie electrică; Cabluri de înaltă tensiune de diverse tipuri (de ex. ulei fluid); Tehnică nouă de calcul pentru rețele de cabluri subterane; Problema izolației cablurilor de f. înaltă tensiune (de ex. cu polyethylen ...); Probleme mecanice în legătură cu cabluri submarine, probleme de îmbătrînire etc.

Se observă o atenție specială dată de constructori pentru noi dezvoltări în legătură cu rețelele de cabluri subterane.

Grupa 22 — liniile aeriene

Cu tot numărul mic de rapoarte prezentate (5) au avut loc discuții animate, dovedind că problema liniilor aeriene are încă evoluții în perspectivă. În special rapoartele și discuțiile au arătat că sînt dezvoltări noi în problema fundațiilor liniilor aeriene, și unele aspecte interesante în legătură cu oscilațiile și suporții propriu-zis. De asemenea s-a dat atenție problemelor estetice, de încadrare a instalațiilor în mediul înconjurător.

Grupa 23—Stații

Au fost prezentate 11 rapoarte. Construcția stațiilor poate fi făcută, din punct de vedere al concepției, cu ajutorul calculatoarelor, cu condiția unor tipizări ale elementelor componente și a unor considerații privind eficiența calculului automat. S-au prezentat unele realizări privind adaptarea stațiilor la condițiile mediului înconjurător, inclusiv problemele zgomotului și poluarea subsolului. Problema influenței cîmpului electric asupra corpului uman a luat de asemenea aspecte mai concrete, în spiritul directivelor elaborate de o grupă specială de lucru a CIGRE publicate în 1971.

Majoritatea discuțiilor s-au purtat în jurul ultimelor realizări în domeniul stațiilor capsulate din puncte de vedere al proiectării și alegerii aparatajului, montajului și exploatării, pentru tensiuni mergînd pînă la 500 kV.

Grupa 31 - Rețele de tramnsport

S-au prezentat 15 rapoarte. Discuțiile prelungite au fost axate pe principalele subiecte preferențiale, arătînd aspectele noi în următoarele domenii: Determinarea viitoarelor nivele de tensiune alternativă și continuă, a adus unele contribuții interesante privind studiile întreprinse în diverse țări, concepția liniilor de ultraînaltă tensiune, factorii afectînd distanțele de izolare între conductori și sol, problemele zgomotului auzibil; Consecințele concepției componentelor asupra economiei, disponibilității, a fiabilității și a siguranței rețelelor de transport; Condițiile impuse materialelor în curs de studiu, precum și relația lor cu concepția rețelelor și performanțelor de exploatare.

Grupa 32 — Planificarea și exploatarea rețelelor

A fost comitetul de studii cel mai animat, bogat în rapoarte prezentate și intervenții și cu o participare importantă a delegației R.S.R. S-au prezentat 22 rapoarte dintre care două românești și anume: „Criterii pentru dimensionarea instalațiilor energetice" de V. Nitu, Gh. Hortopan, H. Albert, M. Bogan și F. D. Lăzăroiu și raportul româno-iugoslav „Nodul de interconexiune de 400 kV Porțile de Fier" de P. Dimo, G. Manolescu, V. Romert și N. Bordeianu. Problemele principale dezbătute în rapoarte și în discuțiile purtate sînt următoarele: Determinarea stărilor sistemelor electroenergetice, și posibilități de analiză în timp real extinse la probleme de siguranță și economie; Problema dispecerului automat cu „introducerea calculatoarelor de proces"; Problema fiabilității și a siguranței în planificarea rețelelor; Calcul numeric și tratarea informațiilor în timp real.

În timpul discuțiilor s-a evidențiat importanța nouă ce o capătă unele căi noi cum sînt: echivalenții de rețea (sau descompunerea rețelelor în echivalenți reduși), indicatorii de stări, progresele făcute cu metoda Monte-Carlo și Markov (România) etc.

Grupa 33 — Supratensiuni și coordonarea izolației

S-au prezentat 15 rapoarte. Subiectele discutate în rapoarte și intervenții au fost: Studiu statistic pentru supratensiuni; Probleme de izolare a instalațiilor considerînd în special condițiile speciale introduse de stări poluante; Supratensiuni de manevră — probleme generale de prevenire a efectelor prin paratoneri; Poluarea salină la izolatoare etc.

Se remarcă în special o atenție deosebită dată fenomenelor de poluare.

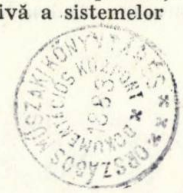
Grupa 34 — Protecția, automatizarea și echipamente de telecomunicații

S-au prezentat 9 rapoarte. Problemele puse în discuție au fost: Protecția marilor unități generatoare în special în legătură cu defectele la pămînt; Probleme de stabilitate a generatoarelor prin introducerea de dispozitive speciale automate sau eliminări de sarcini la scăderea frecvenței; Probleme de protecție a marilor unități (în special turboalternatoare) corelate cu protecția rețelei și protecția de rezervă etc. În general problemele discutate au fost în legătură cu unitățile de foarte mare putere și siguranța funcționării lor prin introducerea dispozitivelor automate.

Participări la lucrările Comitetelor de studii

Delegații români au luat parte la lucrările următoarelor Comitete de studii ca membri sau ca experți: 11 — Mașini turnate; 12 — Transformatoare; 13 — Aparataj de întrerupere; 31 — Rețele de transport; 32 — Planificarea și exploatarea rețelelor; 33 — Supratensiuni și coordonarea izolării; 34 — Protecția, automatizarea și echipamentele de telecomandă; 35 — Teletransmisiuni.

Din bogatele lucrări ale acestei sesiuni s-au desprins cîteva evoluții noi de o importanță deosebită pentru dezvoltarea în perspectivă a sistemelor electroenergetice.



INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.3.001.5 : 621.312

Tănăsescu Fl. : **Der Beitrag der technologischen Forschung beim I.C.P.E. zur Modernisierung der Produktion**

Electrotehnica **21**, Nr. 11, Nov 1973, S 413–420

Es wurden einige technologische Untersuchungen des letzten Jahres kurz dargelegt, mit der Uberzeugung dass deren Anwendungsbereich viel grösser sogar für andere als die in der Arbeit vorgestellten Gebiete sein kann, wobei dies nicht weiter vom dem der die Ausrüstung entwickelt hat abhängt, sondern von der Denkkraft des Mannes aus der Industrie um es zu erwitern, desen Wert zu erhöhen durch immer noch mannigfaltigen Anwendungen.

DK 621.314.2.026.543.001.36

Liculescu, M. und *Cojocaru, I.* : **Neue Lösungen in Projektierung und Technologie, wirksames Mittel zur Ermässigung des Metallverbrauches. Die neue 100 — 1 600 kVA — Vereilungstransformatorenreihe.**

Electrotehnica **21**, Nr. 11, Nov 1973, S. 421–429

Es werden die Projektierungs- und Technologie—Lösungen die bei der neue Reihe von 100 — 1600 kVA, 20 kV — Kraftransformatoren mit Aluminiumwicklungen und Kern aus kaltgewalztes Blech eingeführt wurden, vorgelegt. Die technischen Leistungen werden übersehen und die wirtschaftliche Wirkung die sich durch Assimilation der neuen Transformatorenreihe ergibt, wird beurteilt.

DK 621.313.333.2.042.12 : 538.311

Boldea, I. : **Berechung der Verteilung des elektromagnetischen Feldes und der Charakteristiken der einseitigen Linearmotoren mit Aluminumanker auf Eisen.**

Electrotehnica **21**, Nr. 11, Nov 1973, S. 430–434

Es wird eine neue Bestimmungsart der Betriebscharakteristiken des einseitigen niedrigtourigen Liniarmotors mit unpaarige Polzahl, mit Massivkern-Aluminiumplattenanker versehen, vorgeschlagen.

Die angegebene, durch Versuche bewährte Methode, ist unmittelbar anwenbar zur Vorbestimmung der Betriebscharakteristiken der oder linear — einseitigen niedrigtourigen mit auf Eisen Aluminiumanker — Motoren.

DK 621.34 : 621.314.57 : 621.383.3

Topa, I. : **Elektrische Achse mit elektromagnetische Rückgewinnung der Schlupfenergie.**

Electrotehnica **21**, Nr. 11, Nov 1973, S. 434–439

In der Arbeit werden das Ersatzschema und die Betriebsgleichungen der elektrischen Achse mit elektromagnetische Rückgewinnung der Schlupfenergie durch Anwendung eines Thyristorenumkehrers bestimmt. Die Ausdrücke des elektromagnetischen Drehmomentes der Asynchronmaschinen die auch Gleichgwichtsmaschinen sind, werden Hergeleitet. Durch Veränderung des Steuerungswinkels des Umkehrers die Drehzahl der elektrischen Achse kann kontinuierlich und ohne Verluste bei konstanten Werte des statischen Drehmomentes verändert werden.

VERWIRKLICHUNGEN AUS DER INDUSTRIE 440

BERICHTE 442

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE EREIGNISSE 443

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.3.001.5 : 621.312

Тэнэсеску, Фл.: **Вклад технологического исследования в I.C.P.E. в модернизацию производства**

Electrotehnica **21**, nr. 11, ноябрь 1973, стр. 413–420

Дается краткое описание нескольких технологических исследований, проведенных в течение последнего года и высказывается уверенность в том, что сфера их применения может быть распространена также и на другие области, помимо упомянутых в данной работе, причем это зависит не столько от того, кто осуществил аппаратуру, но и от изобретательности работника промышленности, проявляемой в ее расширении и увеличении значения путем наиболее разнообразного использования.

ДК 621.314.2.026.543.001.36

Ликулеску, М. и *Кожокару, И.:* **Новые решения в проектировании и технологии, эффективное средство в уменьшении расхода металла. Новая серия распределительных трансформаторов 100—1600 ква.**

Electrotehnica **21**, nr. 11, ноябрь 1973, стр. 421–429

Излагаются новые решения в проектировании и технологии, внедренные в новую серию силовых трансформаторов 100—1600 kVA, 20 kV с алюминиевой обмоткой и сердечником из холоднокатанной стали. Проводится обзор технологических показателей и оценивается экономический эффект, достигаемый освоением новой серией трансформаторов в производстве.

ДК 621.313.333.2.042.12 : 538.311

Болдя, И.: **Расчет распределения электромагнитного поля и характеристик линейных односторонних двигателей с алюминиевым якорем на железе.**

Electrotehnica **21**, nr. 11, ноябрь 1973, стр. 430–434

В работе предложен новый способ определения рабочих характеристик линейных односторонних двигателей с нечетным числом полюсов пониженной скорости, предусмотренных в качестве якоря алюминиевой пластинкой на массивном сердечнике. Предложенный метод, утвержденный экспериментальным путем применяется непосредственно при предварительном определении рабочих характеристик вращающихся двигателей или линейных односторонних двигателей пониженной скорости с алюминиевым якорем на железе.

ДК 621.34 : 621.314.57 : 621.382.3

Цопа, И.: **Электрический вал с электромагнитной регенерацией энергии скольжения.**

Electrotehnica **21**, nr. 11, ноябрь 1973, стр. 434–439

В работе определяется эквивалентная схема и работа уравнения электрического вала с электромагнитыой рекуперацией энергии скольжения путем применения инвертера с тиристорами. Выводятся выражения электромагнитных моментов асинхронных машин, являющихся в то же время машинами уравновешивания. Путем изменения угла управления инвертера можно непрерывно и без потерь изменять скорость электрического вала при постоянных величинах статического момента.

ДОСТИЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 440

ДОКЛАДЫ 442

НАУЧНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НОВОСТИ 443

CONTENTS

DC 621.3.001.5 : 621.312

Tănăsescu, Fl. : **Contribution of I.C.P.E. technological research to production modernization.**

Electrotehnica **21**, No. 11, Nov. 1973, p. 413–420

The author succinctly presents some aspects of last year's technological research, being convinced that their application scope could be greatly widened even in domains different from those described in the paper, this fact depending not on the creator of the implements but on the imagination of the who uses them, on his ability to enhance their value, extending their use to a wider range of purposes.

DC 621.314.2.026.543.001.36

Liculescu, M. and *Cojocaru, I.* : **New design and technology solutions, an efficient way of cutting down metal consumption. A new series of 100 — 1 060 kVA power transformers.**

Electrotehnica **21**, No. 11, Nov. 1973, p. 421–429

The authors present the new design and technology solutions adopted for the new series of 100 — 1,600 kVA pover transformers with aluminium windings ands light cold-rolled sheet core. They review the technical performances, assessing the economic results achieved by the new manufacturing methods.

DC 621.313.333.2.042.12 : 538.311

Boldea, I. : **Calculation of the distribution of the electromagnetic field and characteristics of unilateral motors with reciprocating movement equipped with aluminium-iron armature.**

Electrotehnica **21**, No. 11, Nov. 1973, p. 430–434

The paper sets forth a new way of determining the operating characteristics of the low speed unilateral motor with reciprocating movement, with odd number of poles, equipped with solid aluminium core armature. The experimentally checked method can be directly used in predetermining the operating characteristics of low speed rotary engines or unilateral motors with reciprocating movements, equipped with aluminium-iron armature.

DC 621.34 : 621.314.57 : 621.382.3

Topa, I. : **Electric shaft with electromagnetic recuperation of slip energy.**

Electrotehnica **21**, No. 11, Nov. 1973, p. 434–439

The paper determines the diagram and functioning equation of the electric shaft with electromagnetic recuperation of slip energy by means of an inverter with thyristors. The author deduces the electromagnetic couplings expression of asynchronous machines which are at the same time balancing machines. Through alteration of the inverter control angle one is able to continuously alter without losses the rotation of the electric shaft for constant values of the static couple.

INDUSTRIAL ACHIEVEMENT 440

REPORTS 442

SCIENTIFIC AND TECHNICAL EVENTS 443

SOMMAIRE

CD 621.3.001.5 : 621.312

Tănăsescu Fl. : **La contribution de la recherche technologique de l'I.C.P.E. à la modernisation de la production.**

Electrotehnica **21**, no. 11, nov. 1973, p. 413–420

On a présenté sommairement quelques recherches technologiques effectuées pendant l'année passée, ayant la conviction que leur sphére d'application peut être beaucoup plus grande, même pour des domaines différents de ceux imaginés dans l'ouvrage, cela dépendant à l'avenir, non pas de celui qui a réalisé l'équipement, ni de l'imagination du travailleur de l'industrie, mais de l'extention de la sphère et de l'accroisement de sa valeur par des utilisations de plus en plus variées.

CD 621.314.2.026.543.001.36

Liculescu, M. et *Cojocaru, I.* : **Nouvelles solutions en ce qui concerne l'élaboration des projets et la technologie, moyen efficient pour la réduction de la consommation de métal. La nouvelle série de transformateurs de distribution 100 — 1 600 kVA.**

Electrotehnica **21**, no. 11, nov. 1973, p. 421–429

On présente les nouvelles solutions concernant l'élaboration des projets et la technologie, introduites dans la nouvelle série de transformateurs de puissance de 100 — 1 600 kVA, 20 kV à enroulements en aluminium et noyau en tole laminée à froid. On passe en revue les performances techniques et on fait des appreciations sur l'effet économique l'on réalise par l'assimilation dans la fabrication de la nouvelle série de transformateurs.

CD 621.313.333.2.042.12:538.311

Boldea, I. : **Le calcul de la répartition du champ électromagnétique et des caractéristiques des moteurs linéaires unilatéraux à induit en aluminium sur de fer.**

Electrotehnica **21**, no. 11, nov. 1973, p. 430–434

On propose une nouvelle modalité de détermination des caractéristiques de fonctionnement du moteur linéaire à nombre impair de pôles, à vitesse réduite, pourvu d'un induit-plaque en aluminium de noyau massif.

La méthode proposée, validée expérimentalement, est utilisés directement lors de la prédétermination des caractéristiques de fonctionnement des moteurs rotatifs, ou bien linéaires-unilatéraux à vitesse réduite, à induit en aluminium sur du fer.

CD 621.34 : 621.314.57 : 621.382.3

Topa, I. : **Arbre électrique à récupération électromagnétique de l'énergie de glissage.**

Electrotehnica **21**, no. 11 nov. 1973, p. 434–439

Dans cet ouvrage on détermine le schéma équivalentet les équations de fonctionnement de l'arbre électrique à récupération électromagnétique de l'énergie de glissage, en utilisant un inverteur à thyristors. On déduit les expressions des couples électromagnétiques des machines asynchrones qui sont en même temps des machines à équilibrer. En modifiant l'angle de commande de l'inverteur, on peut modifier continuellement et sans pertes, le nombre de tours de l'arbre électrique, à des valeurs constantes du couple statique.

REALISATIONS DANS L'INDUSTRIE 440

RÉFÉRATS 442

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 443

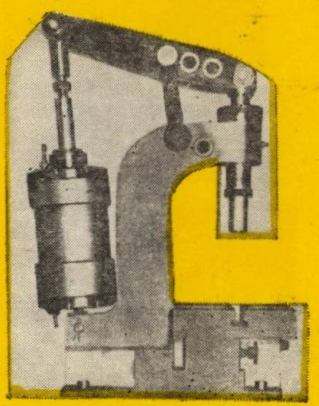
ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁRÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

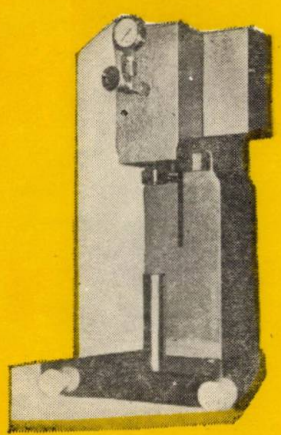
ELECTROtimiș

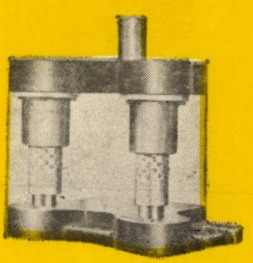
FABRICA
DE MATRIȚE, SCULE
ȘI UTILAJE
TEHNOLOGICE
PENTRU INDUSTRIA
ELECTROTEHNICĂ

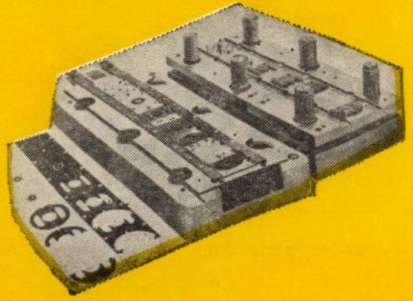
PRODUCE:

- agregate și linii tehnologice
- utilaje pentru operații de bobinaj
- utilaje pentru prelucrări mecanice
- standuri
- prese hidraulice și pneumatice
- utilaje pentru operațiile de debitare
- utilaje pentru montaj și asamblare
- ștanțe, matrițe, cochilii







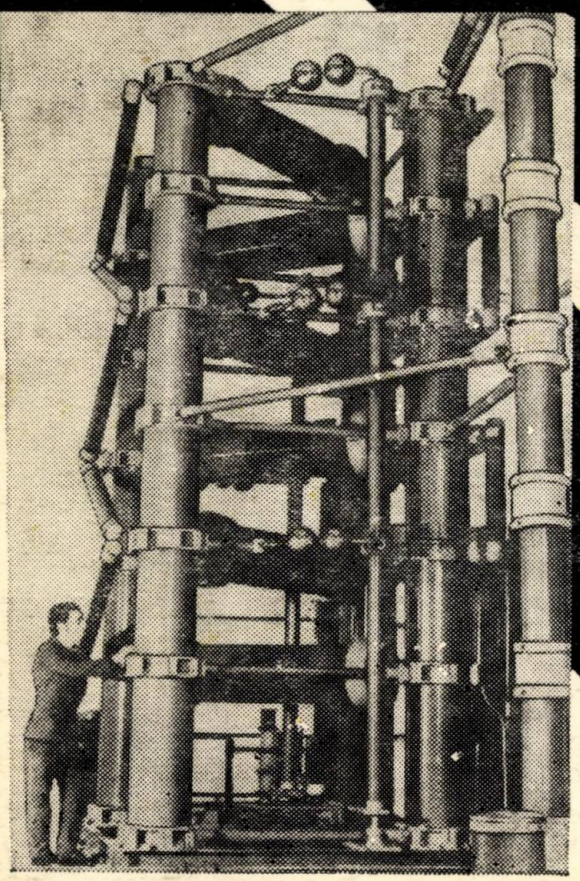


TIMIȘOARA

- Calea Buziașului nr. 15
- telefon 15820

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICA

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive.

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine.

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dv., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele?

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca p. odusele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite?

1974 MAR 13

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

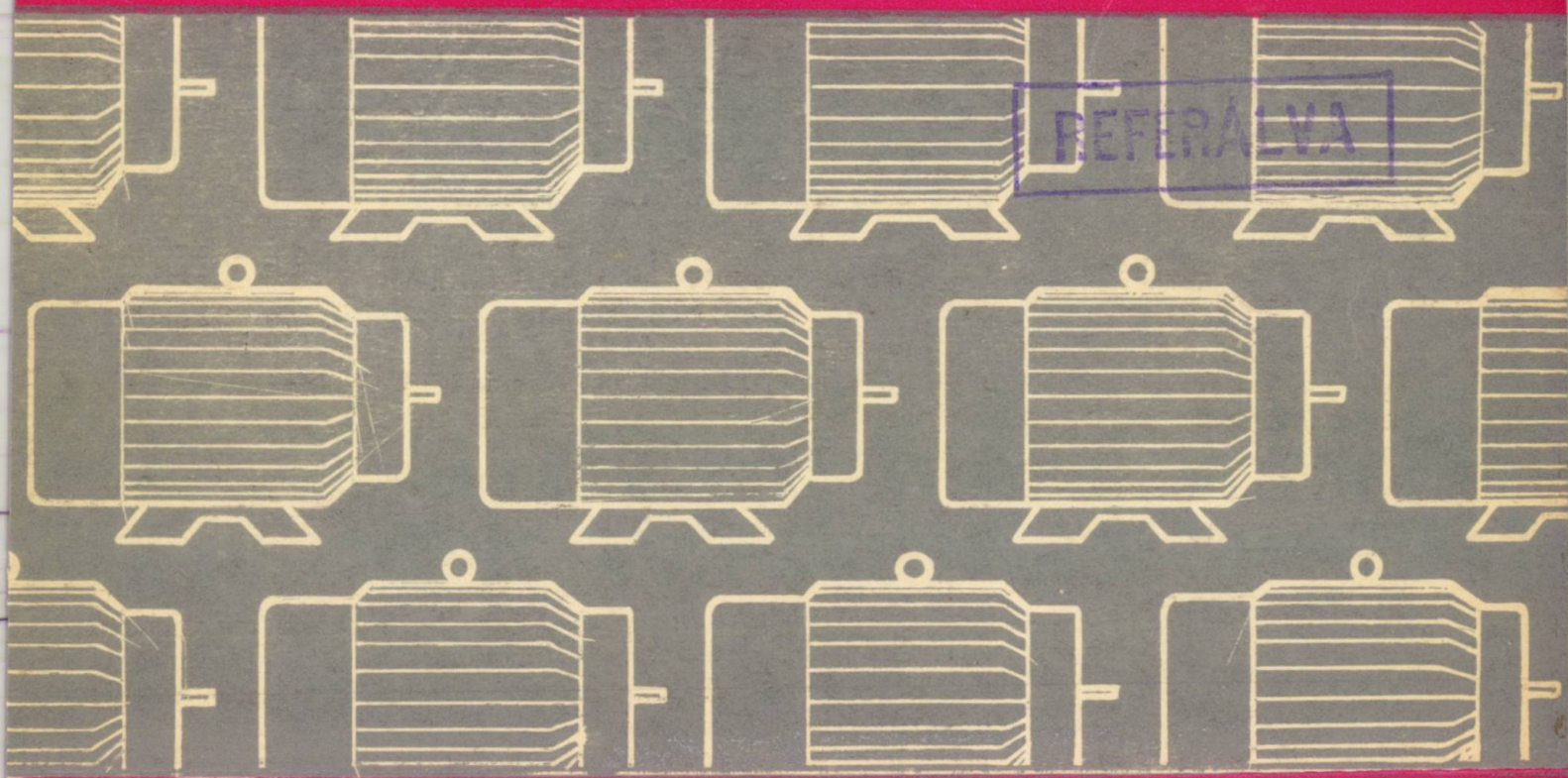
Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 de ani în activitate, care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

ICPE

BUCUREȘTI, — BD. T. VLADIMIRESCU 45-47 — TELEFON 31.41.00

E 2040

ELECTROTEHNICA



REFERATIVA

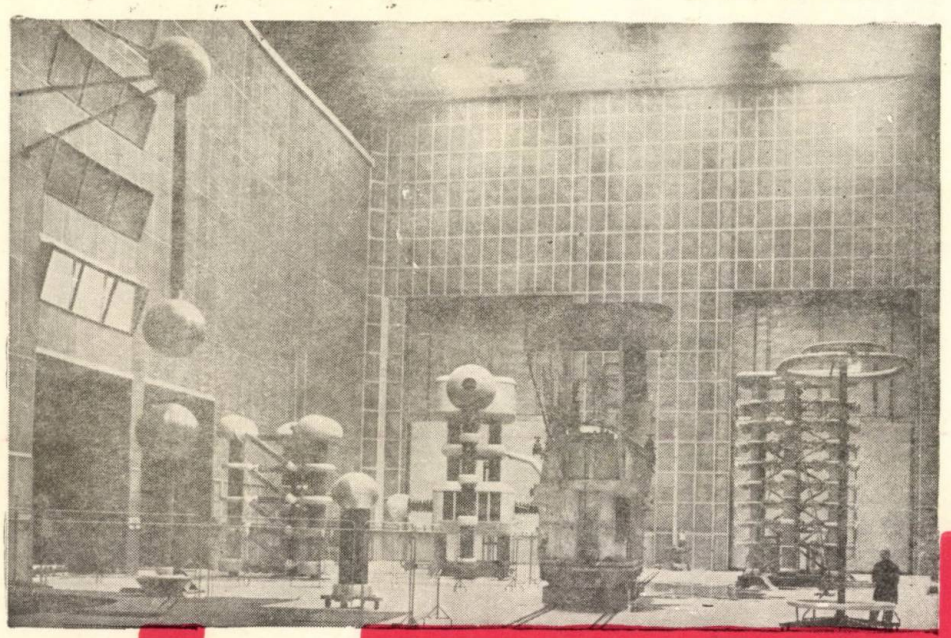
ELECTROTEHNICA ● BUCUREŞTI ● ANUL 21 ● Nr. 12 ● DECEMBRIE 1973

12

CENTRUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE ELECTROPUTERE CRAIOVA

prin noul său

LABORATOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE



conceput şi echipat modern oferă în domeniul tehnicii tensiunilor înalte următoarele servicii:

— încercări cu tensiune aplicată în gama de frecvenţe 25—150 Hz pînă la 1200 kV;

— încercări cu tensiune aplicată în curent continuu pînă la 1000 kV, 30 mA;

— încercări cu tensiune indusă în transformatoare de putere cu frecvenţă mărită 100—150 Hz, monofazat şi trifazat;

— încercări cu supratensiuni atmosferice 1,2/50 μs pînă la 2400 kV, 192 kWs;

— încercări cu supratensiuni de comutaţie 250/2500 μs, pînă la 1800 kV;

— măsurători de descărcări parţiale şi perturbaţii radio în hală ecranată electromagnetic;

— încercări asupra izolaţiei externe sub ploaie artificială;

— ridicarea caracteristicilor de răspuns ale schemelor de măsurare de înaltă tensiune (divizoare, şunturi);

— încercări pentru caracterizarea materialelor electrotehnice;

— calculul şi modelarea fenomenelor tranzitorii în transformatoare;

— studii şi cercetări pentru dezvoltarea echipamentului electrotehnic de înaltă tensiune.

Craiova, Calea Bucureşti nr. 144; teleton 21871; telex 016228

ELECTROTEHNICA

Anul 21 Nr. 12, pag. 445 — 484 decembrie 1973

CUPRINS

CZ 621.312 (09) (498)

Tănăsescu, Fl. **Industria electrotehnică şi realizările sale în preajma celei de a 26-a aniversări a proclamării Republicii.**

Electrotehnica **21**, nr. 12, dec 1973, p. 445—452

CZ 621.313.32.045.3

Dobraniş, A. şi *Măgureanu, R.*: **Cu privire la performanţele maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe.**

Electrotehnica **21**, nr. 12, dec 1973, p. 453—458

În continuarea celor prezentate într-un articol anterior, se demonstrează pe cale experimentală şi de calcul posibilitatea funcţionării maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe la unghiuri de sarcină de valori mari, apropiate de 180°, cărora le corespund sarcini reactiv-capacitive importante. Se arată metoda utilizată pentru rezolvarea sistemului de ecuaţii ale maşinii de acest tip pe un calculator numeric, iar rezultatele de calcul sînt confruntate cu acelea obţinute pe un model fizic de laborator.

CZ 621.312.2 : :621.59 :621.311.1

Cruceru, C.: **Aspecte cu privire la construcţia şi utilizarea cablurilor criogenice în reţelele şi sistemele electroenergetice.**

Electrotehnica **21**, nr. 12, dec 1973, p. 458—464

Lucrarea prezintă aspectele cu privire la construcţia şi utilizarea cablurilor criogenice în reţelele electrice de înaltă şi foarte înaltă tensiune. Se descriu elementele constructive ale unor asemenea cabluri şi se arată avantajele utilizării lor din punct de vedere tehnic şi economic. Pentru a ilustra importanţa tehnică a folosirii cablurilor criogenice sînt indicate realizările recente în acest domeniu, pe plan mondial, precum şi perspectivele asimilării lor în România.

CZ 621.316.53.027.2 :621.3.014.31 :621.3.017.7

Truşcă, V.: **Transmisia căldurii prin piciorul arcului electric în camerele de stingere ale aparatelor de comutaţie de joasă tensiune.**

Electrotehnica **21**, nr. 12, dec 1973, p. 464—470

Lucrarea se referă la transmisia căldurii, prin piciorul arcului electric, în aparatele de comutaţie de joasă tensiune. Aceasta prezintă importanţă pentru determinarea funcţiei de extracţie a căldurii din coloana arcului electric, care este determinată de condiţiile locale şi de tipul constructiv al camerei de stingere.

CZ 621.351 :536.46.001.2

Marinescu, M.: **Pila de combustie şi pila termo-electrică.**

Electrotehnica **21**, nr. 12, dec 1973, p. 470—476

Se prezintă unele realizări recente şi direcţiile de cercetare în viitorul apropiat ale conversiei directe a combustibililor primari în energia electrică ca şi aceea a transformării directe a căldurii în energie electrică.

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE. Invenţii 476
MANIFESTĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI TEHNICE 477—479
SUMAR ANUAL ŞI INDEX ALFABETIC 480—484

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. dr. doc. șt. tehn. PL. ANDRONESCU; prof. dr. doc. șt. tehn. I. S. ANTONIU, membru coresp. al Academiei Republicii Socialiste România; acad. dr. doc. șt. tehn. A. AVRAMESCU — redactor responsabil ; dr. ing. V. BUNEA ; ing V. CIOFU; prof. dr. doc. șt. tehn. V. CORLAȚEANU; ing. ȘT. GROSU; prof. dr. ing. G. HORTOPAN — redactor responsabil adjunct; conf. ing. G. LAZARIDE; dr. ing. D. F. LĂZĂROIU ; ing. M. OPASCHI ; ing. A. POPA ; prof. ing. CRISTINA POPESCU ; prof. ing. VL. POPOVICI ; academician prof. dr. doc șt. tehn. ing. R.RĂDULEȚ ; ing. R. VLĂDOIANU.

Revista „ELECTROTEHNICA", organ al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini-Unelte și Electrotehnicii și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din Republica Socialistă România, sub îndrumarea științifică a Institutului de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică, este editată de Oficiul de documentare și publicații tehnice al M.I.C.M.G., cu sediul în București, Calea Victoriei, nr. 133, sectorul 1, telefon director : 50.23.25. Redacția : București, str. Mândinești nr. 3, sector IV ; telefon secretar general de redacție : 13.90.87. Abonamentele se primesc la Biroul de aprovizionare, comenzi-difuzare, telefon : 35.12.59. Instituțiile pot achita abonamentele în contul nostru de virament 30060300 Banca Națională a Republicii Socialiste România — Filiala sectorului 1, București. Tarif pentru instituții și întreprinderi : lei 100 anual ; pentru muncitori, tehnicieni și ingineri : lei 30 anual. Costul unui exemplar : lei 5. Tiparul : Întreprinderea poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu, nr. 23—25, c. 3441. *Taxele poștale plătite în cont-avans conform aprobării D.G.P. nr. 137/10078/1972*

41 400

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁRUNK DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

ELECTROTEHNICA

ORGAN AL MINISTERULUI INDUSTRIEI CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI-UNELTE ŞI ELECTROTEHNICII ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA
ÎNDRUMAREA ŞTIINŢIFICĂ: INSTITUTUL DE CERCETARE ŞI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ
EDITOR: OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL M.I.C.M.G.

Anul 21 nr. 12 Bucureşti, decembrie 1973

Industria electrotehnică şi realizările sale în preajma celei de a 26-a aniversări a proclamării Republicii

FLORIN TĂNĂSESCU* — Bucureşti

CZ. 621.312(09)(498)

Ne mai despart, stimate cititor ce lucrezi în industrie, cercetare, învăţămînt sau exploatare, doar puţine zile pînă la sfîrşitul acestui an, cel de al 26-lea de la proclamarea republicii, an care a însemnat pentru industria electrotehnică responsabilităţi deosebite faţă de celelalte sectoare ale economiei naţionale, dar şi satisfacţia obţinerii unor succese de prestigiu, obţinute de cele mai multe ori ca efect al unor activităţi colective îndelungate.

Vorbind de responsabilităţi, trebuie să începem cu cele ce derivă din Directivele Congresului al X-lea al Partidului Comunist Român, care au accentuat necesitatea dezvoltării cu precădere a industriei electrotehnice în cadrul construcţiei de maşini, în perioada anilor 1971—1975.

Într-adevăr, electricitatea intră atît de adînc în viaţa omului modern, încît practic nu mai poate fi separată de acesta, ea trebuind să creeze premisele de promovare a progresului tehnic în domenii a căror varietate este astăzi impresionantă: construcţii de maşini, metalurgie, chimie, agricultură, transporturi, construcţii, educaţie, medicină. Acesta este şi motivul pentru care industria electrotehnică se bucură de un ritm prioritar de dezvoltare pentru că ea trebuie să înnobileze, să dea o valoare superioară tehnicii pe care este grefată.

„Va trebui să producem asemenea maşini şi utilaje — subliniază tovarăşul Nicolae Ceauşescu — încît dintr-o tonă de metal să obţinem pînă în anul 1980—1985 o valoare de 4—5 ori mai mare decît cea realizată astăzi". Şi dacă ne gîndim la varietatea de utilaje ce se execută astăzi, ne închipuim faţetele numeroase ale activităţii pe care trebuie să o dezvolte industria electrotehnică, care prin ritmurile sale de dezvoltare trebuie să asigure — cel puţin o dublare a producţiei la o perioadă de 5 ani.

Pe linia dezvoltării bazei materiale, trebuie remarcată apariţia unor noi unităţi industriale, în paralel cu dotarea neîntreruptă a celor existente, care să poată face faţă atît solicitării cantitative a celorlalte sectoare economice, cît şi ale asigurării unei implementări dorite ale unor noi tehnici.

Astfel, numai în industria electrotehnică de curenţi tari, de care se va vorbi, în principal, în cele ce urmează, la cele 11 fabrici existente în anul 1965 şi cele 7 construite în cincinalul 1966 — —1970, s-au adăugat noi secţii şi unităţi care au intrat în producţie, cum sînt cele de la Fabrica de transformatoare Filiaşi, Fabrica de aparataj de înaltă tensiune Craiova, Fabrica de celule Băileşti, Fabrica de aparataj de instalaţii Titu, Electroargeş, Electrotimiş, Fabrica de aparataj pentru autovehicule Sf. Gheorghe, Fabrica de conductoare emailate Zalău, Fabrica de aparataj de joasă tensiune Botoşani etc.

Şi un lucru ce nu trebuie neglijat: concepţia tehnică a acestor unităţi, tehnologiile propuse, aparţin institutului de proiectare ELECTROUZINPROIECT, unitate care în decursul ultimilor 10 ani a fost nelipsită de la „premierele" industriei electrotehnice româneşti.

Cîteva realizări ale sale sînt date în figurile 1—3, impresionînd atît prin rezolvarea arhitecturală (fig. 1), cît şi prin organizarea procesului tehnologic, în cazul de faţă pentru o fabrică de televizoare (figura 2) şi una de aparataj (figura 3).

Dacă în perioada anilor trecuţi, pentru a asigura o dinamică rapidă a industriei electro-

---

* Dr. ing. *Fl. Tănăsescu* este directorul Institutului de cercetare şi proiectare pentru industria electrotehnică.

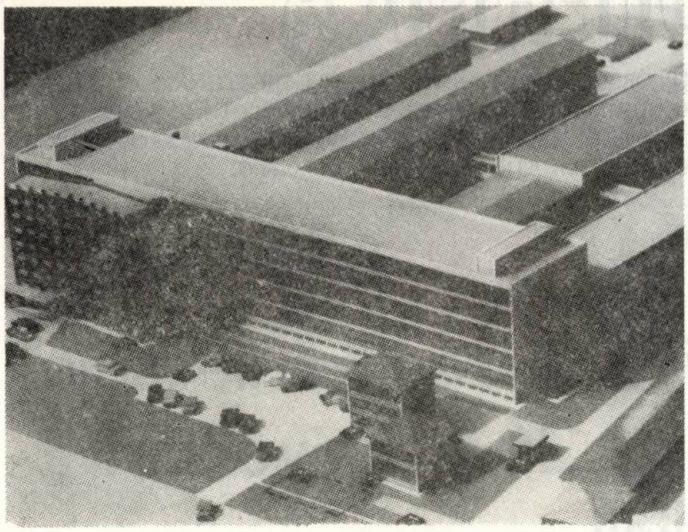


Fig. 1. Extinderea fabricii Electromagnetica din Bucureşti (proiect EUP)

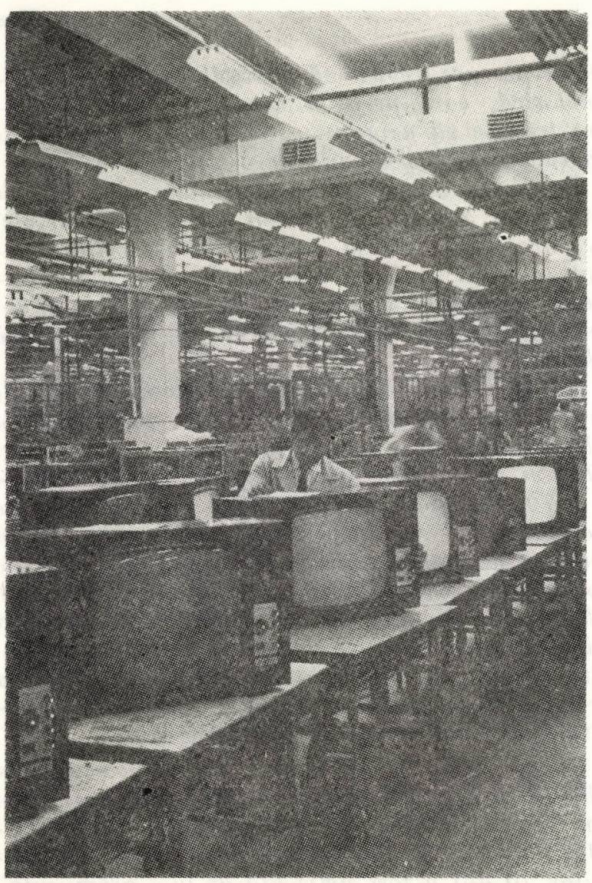


Fig. 2. Linie de fabricaţie la uzina Electronica din Bucureşti (proiect EUP)

tehnice, a fost achiziţionat un număr de licenţe care a permis obţinerea unor transferuri de tehnologii moderne, în perioada ultimului an — întărind această afirmaţie şi prin intrarea în funcţiune a Fabricii Electrotimiş care prin profilul său asigură baza tehnologică de realizare a unor maşini, echipamente şi tehnologii specializate — numeroase fabrici beneficiază de soluţii tehnice româneşti, aparţinînd sectoarelor de concepţie din fabrici, din institutele de specialitate activînd în domeniul electrotehnicii de curenţi tari (ICPE, EUP, IPA, CCPMAE-Craiova).*

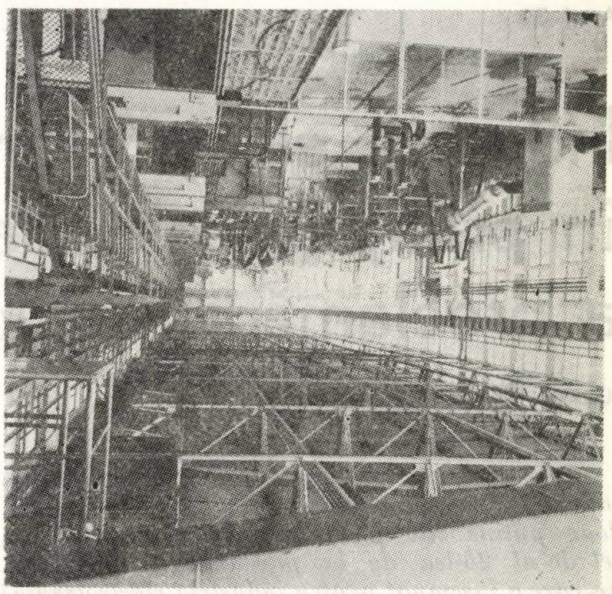


Fig. 3. Linie de fabricaţie, încercări şi expediţie la Fabrica de aparataj de înaltă tensiune-Craiova (proiect EUP)

O altă trăsătură a electrotehnicii anului 1973 o constituie preocuparea sporită pentru înnoirea producţiei. Dinamismul cu care se dezvoltă industria electrotehnică şi legat de aceasta faptul că o fabrică nouă înseamnă în general produse noi, se constată preocupări deosebit de interesante pentru modernizarea produselor, urmărind prin aceasta obţinerea unor parametri superiori, inclusiv costuri scăzute şi consum minim de materiale.

Întregul plan de introducere a progresului tehnic în fabricile electrotehnice reflectă conţinutul programelor prioritare elaborate, neexistînd tematică la care electrotehnica — în afara programelor proprii — să nu fie solicitată a colabora (maşini-unelte, construcţii de nave, mecanică fină, foraj de mare adîncime, utilizarea raţională a energiei electrice ş.a).

Deşi însăşi industria electrotehnică este „nouă" fiind o creaţie a regimului nostru, efortul de asimilare şi modernizare a producţiei se materializează prin ponderea pe care o reprezintă produsele noi şi modernizate în volumul total al producţiei. Dinamica este suficient de convingătoare şi ea arată că dacă în anul 1971

* ICPE : Institutul de Cercetare şi Proiectare pentru industria electrotehnică
EUP : Electrouzinproiect
IPA : Institutul de proiectări pentru automatizări
CCPMAEC : Centrul de Cercetare şi proiectare pentru maşini şi aparate electrice : Craiova

ele reprezentau 17,7%, iar în 1972 34,6%, în acest an ponderea produselor noi și modernizate este de aproximativ 50%, urmînd ca în 1980 să se apropie de 81—85%. Acest lucru înseamnă pe de o parte însușirea de noi tehnici care să permită schimbarea structurală a unor construcții de echipamente, iar pe de alta, capacitatea tehnologică a industriei de a însuși în timp tot mai scurt rezultatele cercetării proprii sau ale cooperării științifice internaționale.

În domeniul mașinilor electrice, anul acesta a marcat o preocupare mai susținută a sectoarelor de concepție și a cercetării de profil de a scoate noi produse competitive ca performanțe și care să intre în echipamente complexe de valoare tehnică și economică deosebită.

Motoarele electrice asincrone de înaltă tensiune tip MEB sau cele de joasă tensiune tip MAP—1 de la Electroputere, motoarele asincrone din seria AIPM și AIM cu frînă inclusă, motoare de ascensor cu două viteze 11/2 kW, 4/1 kW la 1 000/250 rot/min, electrotamburele pentru benzi rulante de la IMEB, generatoarele de curent alternativ pentru auto și demaroarele de la Electroprecizia-Săcele, motoarele electrice pentru acționarea mașinilor de calcul electromecanice la FMEP, au permis prin asimilarea lor însăși modernizarea echipamentelor în care au intrat.

Continuînd tradiția dobîndită în fabricarea motoarelor de tracțiune, IMEB a asimilat un nou tip de motor TN —71—de putere 140 kW, tensiune 750 V și curent 205 A, cu un circuit magnetic al statorului avînd conturul exterior octogonal realizat în întregime din tole, eliminînd prin aceasta construcția tradițională a carcasei. Noutăți apar și în realizarea polilor principali ca formă și dispunere a bobinajului de compensație, bobinaj în clasa B la rotor și H la stator, rezistență la supratensiuni și umiditate ridicată. În figura 4 este prezentată construcția generală.

În domeniul mașinilor electrice speciale pentru automatizări, merită a fi remarcate rezultatele obținute de ICPE în realizarea motoarelor cu întrefier axial, motoare premiate anul trecut la Salonul internațional de la Caen cu medalia de aur. Obiect al unor brevete de invenții românești (autori prof. dr. ing. D.F. Lăzăroiu și cercetător pr. ing. S. Slaiher), vizează o tehnologie de mare productivitate cu consum redus de metal, motoarele realizate pe baza acestui principiu fiind realizate inițial pentru reglarea avansului vanelor, iar pe baza rezultatelor obținute, din anul viitor o nouă serie de motoare pentru mașini-unelte caracterizate prin constante de timp mici, gabarite reduse, mare fiabilitate. Trebuie menționată contribuția adusă de fabrica Electrotehnica la dezvoltarea acestor tehnici, îmbunătățirile tehnologice aduse, pregătirea de fabricație efectuată în comun cu institutul, ceea ce a permis ca încă din acest an să fie realizat în țară un număr însemnat de motoare, aduse pînă acum de beneficiari doar din import.

În figura 5 este prezentat un motor cu întrefier axial pentru acționarea vanelor, asimilat la Electrotehnica după proiect ICPE și un motor pentru acționarea mașinilor-unelte (a și b).

Preocuparea pentru obținerea de economii de cupru și fier se remarcă și la trei tipodimensiuni pe care Electroprecizia-Săcele și ICPE și-au propus să le optimizeze utilizînd și unele rezultate ale unor cercetări mai vechi efectuate în domeniul seriei optimizate de mașini electrice.

Rezultatele acestei activități materializată prin reproiectarea gabaritelor 100, 112, 132, se concretizează prin obținerea unor economii importante și anume: 25% la fier și 15% la cupru, ceea ce la nivelul producției realizată se cifrează la economii anuale ce depășec suma de 1,49 milioane lei.

În domeniul construcției de transformatoare, însușirea seriei modernizate de puteri 100—1 600kW la Filiași și a unor transformatoare de parametri deosebiți la UEPC, pun în valoarea contribuției creației originale a constructorilor de transformatoare de la CCPMAE-Craiova, care au găsit numeroase rezolvări originale în domeniul circuitelor magnetice, optimizării pe calculator a construcțiilor, studiul unor regimuri tranzitorii prin modelare. Autotransformatorul bloc de 400 kV—400 MVA proiectat de uzina craioveană reprezintă un rezultat de valoare obținut în acest an de constructorii de transformatoare.

Pe linia producerii echipamentelor electroenergetice la fabricile de aparataj și celule din cadrul Centralei industriei electrotehnice (CIE) s-au realizat noi prototipuri de aparate de comutație și protecție, destinate echipamentelor electroenergetice grele, tracțiunii electrice, liniilor de energie de tensiuni de 220 și 400 kV, a unor celule specializate, stații bloc, transformatoare de măsură. In colaborare cu ICPE, s-au asimi-

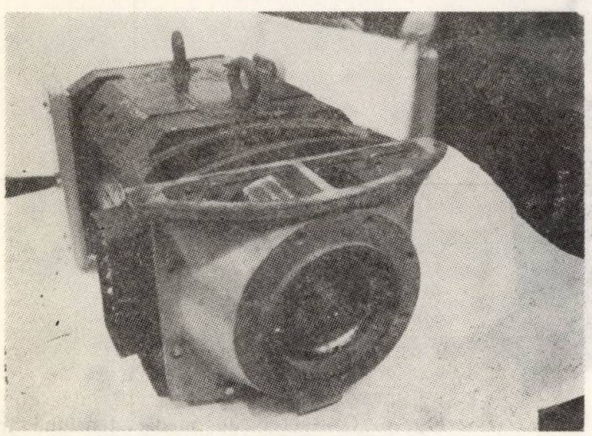
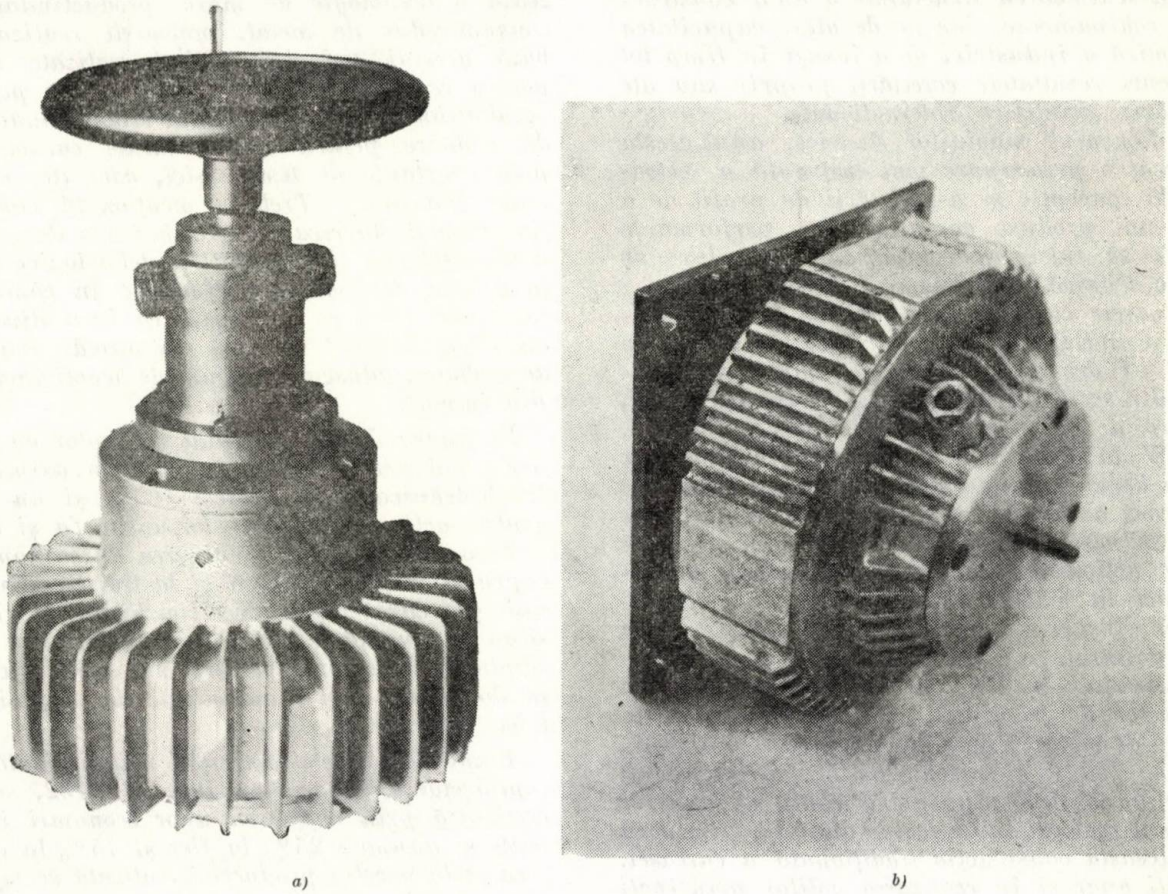


Fig. 4. Motor TN—71 pentru tracțiune urbană: $P = 140$ kW, $U = 750$ V, $I = 205$ A, realizat de IMEB

lat în acest an, contactorul în aer de medie tensiune CAM-100 și scurtcircuitorul pentru locomotiva electrică, produse cu performanțe ridicate, de mare interes pentru economia națională.

Legat de sarcinile ce derivă din programul de gospodărire rațională a energiei electrice, fabrica Electrotehnica a trecut la fabricația de echipamente automatizate pentru baterii de condensa-



a) *b)*

Fig. 5. Motoare cu întrefier axial, asimilate, sau în curs de asimilare, la Electrotehnica, după concepția ICPE

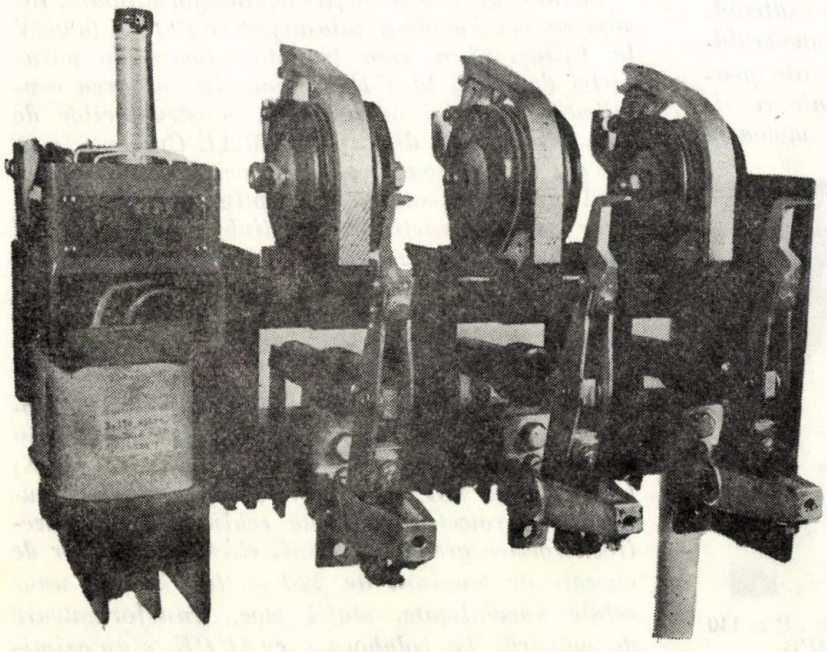


Fig. 6. Contactor de medie tensiune în aer CAM–100 asimilat la Electroputere după concepție ICPE

toare cu mai multe trepte — egale și neegale — concepute a fi realizate pentru joasă sau medie tensiune, într-un număr de tipodimensiuni ce depășește 100 și puteri pînă la 9 MVar. Aceste echipamente au asigurat beneficiarilor încă din primele luni de funcționare, avantaje tehnico-economice remarcabile.

Fig. 7. Echipamente de comandă pentru baterii de condensatoare la joasă tesiune, asimilate la Electrotehnica după concepție ICPE

Progresele obținute în fabricile de construcții electrotehnice (mașini, aparate etc.), sînt condiționate în cea mai mare măsură de materiile de bază și componentele ce sînt livrate de fabricile de specialitate. Este și motivul pentru care trebuie amintite noile tipuri de condensatoare pentru tracțiune sau energetice, cabluri în polietilenă, conductoare izolate cu emailuri speciale sau sticlă, stratificate pe bază de țesături de sticlă realizate de ICME în anul 1973. De asemenea, în domeniul ceramicii de joasă și înaltă tensiune, Electroceramica-Turda a asimilat noi tipuri de camere de stingere rezistente la arc electric, piese izolante turnate sub presiune, socluri de siguranțe, anvelope pentru tranformatoare de măsură, izolatoare și treceri izolate de înaltă tensiune.

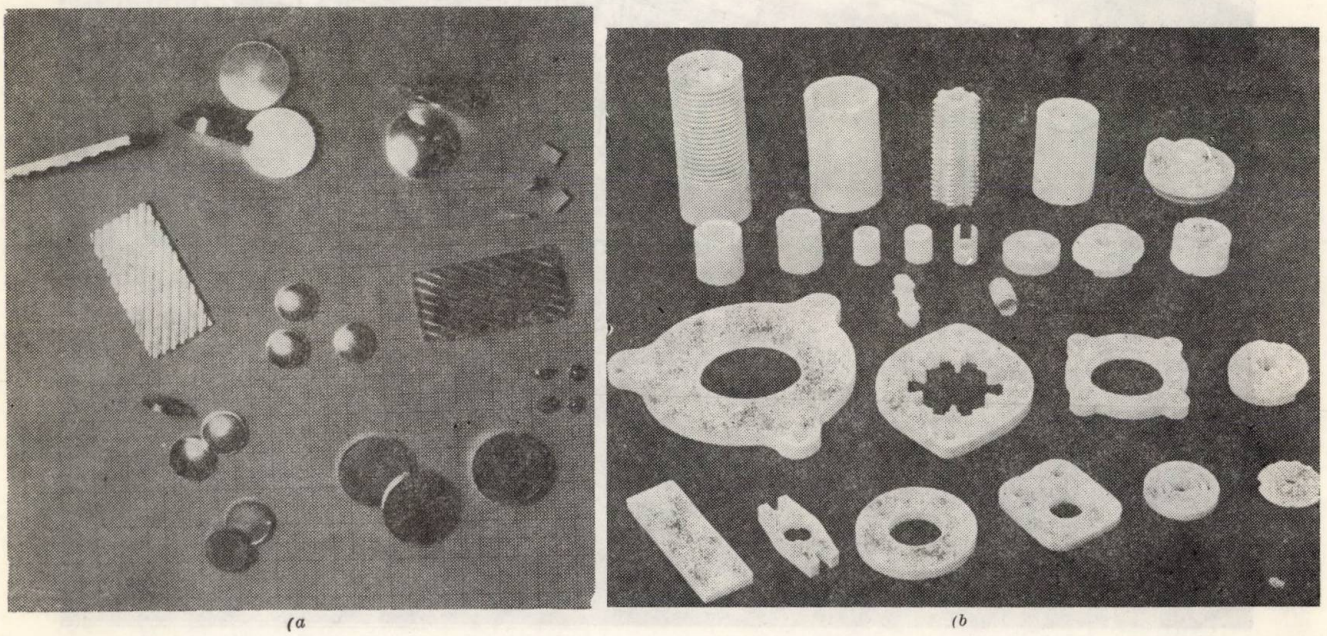
Cercetarea științifică se poate prezenta și ea la sfîrșitul acestui an cu un bilanț care în general este pozitiv și dovedește o încadrare corespunzătoare în problemele ce preocupă astăzi industria electrotehnică de curenți tari din România.

Anul 1973 a însemnat introducerea în fabricație a unor produse realizate de institute de cercetări activînd în acest domeniu, completarea cu utilaje tehnologice a unor linii de fabricație cu standuri și laboratoare de încercări.

Se poate spune că planul tematic al institutelor a fost mai strîns corelat între unitățile de cercetare, dar și dintre acestea și industrie, ceea ce a permis atît concentrarea pe unele tematici presante pentru fabrici, cît și rezolvarea multidisciplinară complexă, a unor teme.

In condiții nu întotdeauna corespunzătoare de dotare, institutele au realizat o producție însemnată de materiale și echipamente care, cedate fabricilor a permis reducerea unor valori importante valutare.

Realizarea la ICPE a contactelor pentru Electroaparataj și a ceramicii electronice pentru fabricile din platforma Pipera, a materialelor de contact la CCPMA pentru UEPC, a materialelor magnetice la ICE pentru diverși beneficiari, a benzilor poliesterice la ICPE pentru fabricile de mașini din țară, dovedesc o schimbare de mentalitate, în sensul asocierii preocupării institutelor și la niște nevoi presante de mare actualitate, pe care industria trebuia să le pună totuși unui partener.



(a) (b)

Fig. 8. Materialele de contact (a) și ceramice (b) executate ca microproducție la ICPE, pentru fabricile din sectorul electrotehnic

Este de așteptat ca în următorii ani, odată cu creșterea dotării pe cercetător, care va depăși 2—300.000 lei și a cifrei de cheltuieli pentru cercetare-dezvoltare, care va fi de 3,2—3,5%, din volumul total al producției, cercetarea să fie capabilă ca prin soluții proprii să asigure dinamica noilor fabrici, progresul tehnic al unor familii de produse, integrarea mai bună a unor licențe sau dezvoltarea acestora.

Liniile tehnologice, echipamentele de acționare standurile realizate în 1973 pentru unele unități industriale dovedesc capacitatea tehnică a colectivelor de cercetare. Liniile de acționare pompe duplex, realizate de ICPE la fabrica de alumină-Tulcea, stația de redresare pentru formare baterii de acumulatoare, făcută de același institut pentru fabrica Acumulatorul, tablourile de comandă și schemele de automatizare realizate de IPA pentru instalații de piroliză, atestă obținerea unor construcții deosebit de valoroase, cu performanțe similare unor echipamente de nivel, realizate în alte țări (figurile 9 și 10).

În domeniul acționărilor, trebuie remarcată activitatea depusă de IPA și fabrica Electrotehnica în realizarea unor cascade subsincrone cu tiristoare pentru aplicații interne și externe în gama 75—500 kW, convertizoare de frecvență, variatoare de turație pentru motoare de c.c. pînă la 55 kW destinate în principal mașinilor-unelte, echipamente tipizate de comandă numerică a mașinilor-unelte din familia Numerom.

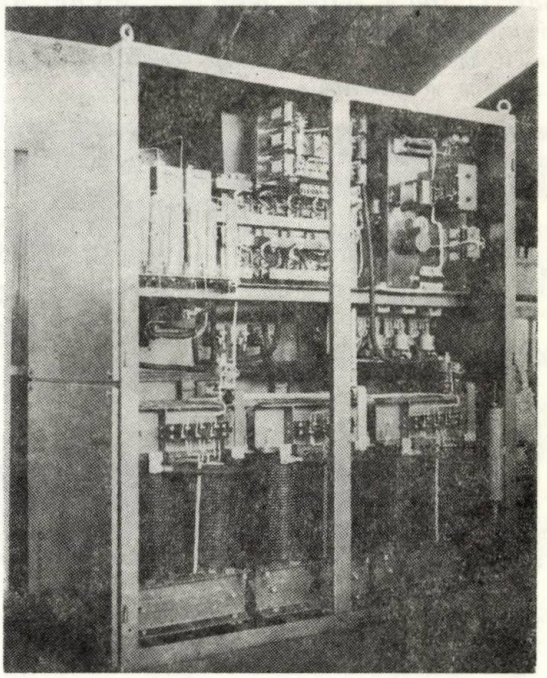


Fig. 9. Echipament de comandă pentru pompele Duplex, la uzina de alumină-Tulcea, concepție și execuție ICPE

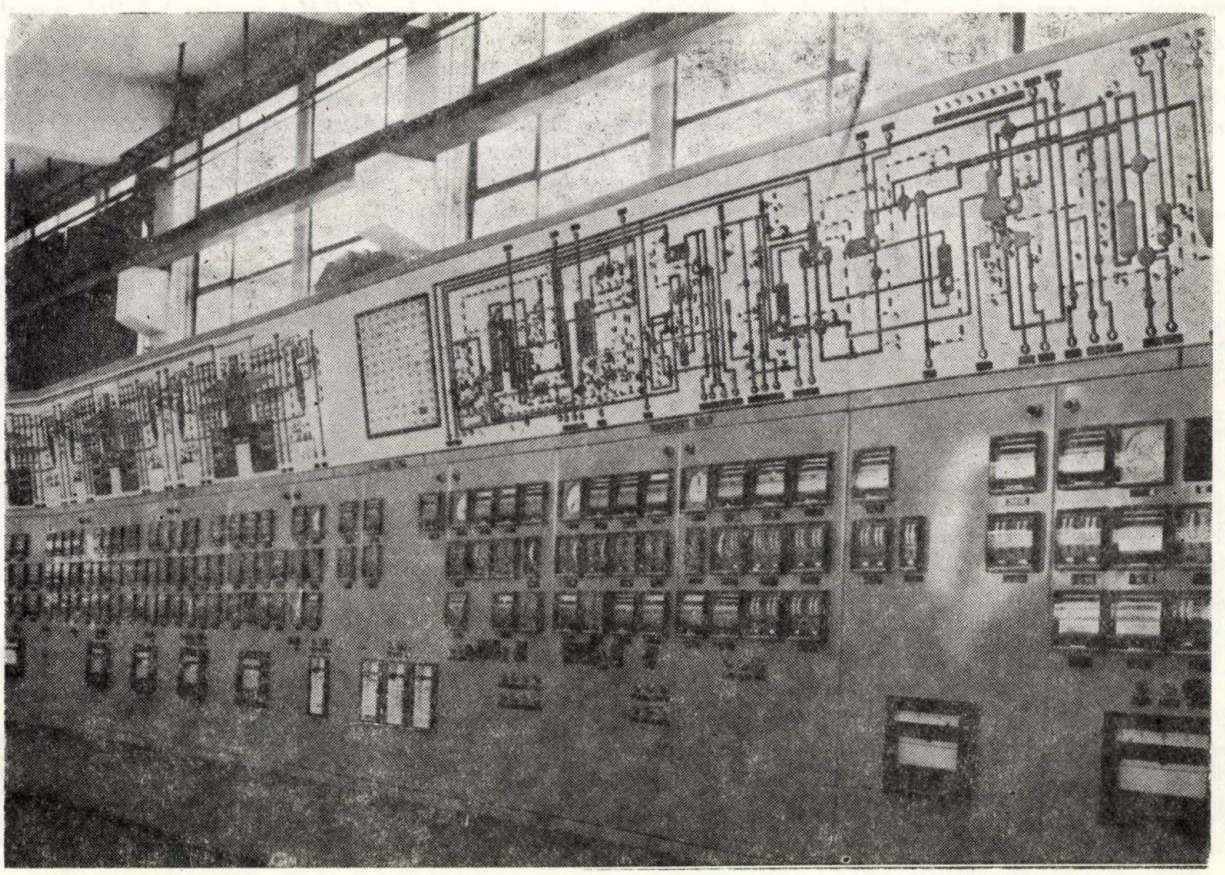


Fig. 10. Tablou de comandă pentru o instalație de piroliză executat după concepție IPA

În figurile 11 și 12 sînt date cîteva realizări.

De asemenea, la ICPE au fost elaborate soluții interesante în domeniul acționării troleibuzelor, instalațiilor de foraj de mare adîncime, redresoarelor specializate, excitației statice pentru mașini mari. Cîteva din ele sînt reprezentate în figurile 13 și 14.

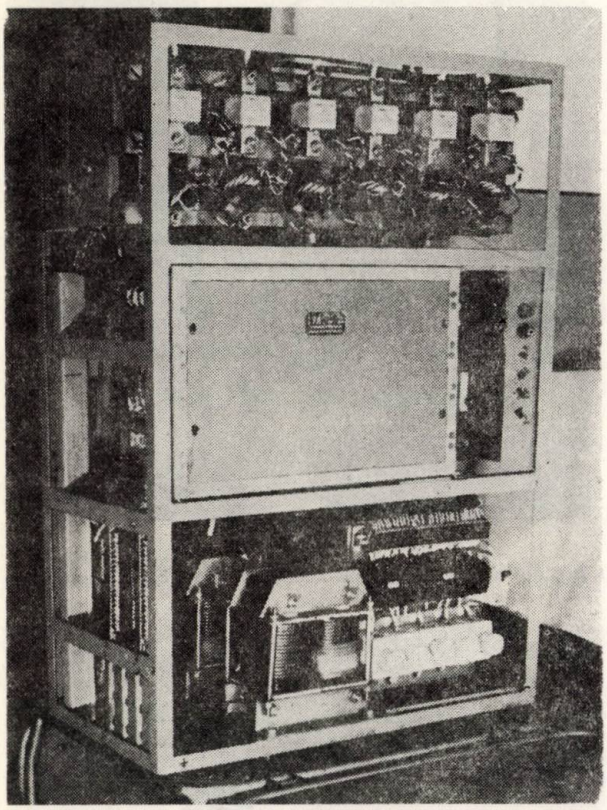


Fig. 11. Variator de turație tipizat, cu tiristoare pentru mașini-unelte; avansuri rapide. Concepție IPA, asimilat la Electrotehnica

O caracteristică a cercetării moderne — participarea mai largă a unor unități diferite la realizarea unui produs complex — se distinge și în cazul instalației de foraj F—320 acționată în curent continuu, echipament la care pe lîngă Institutul de cercetări utilaj petrolier (IPCUP) au mai participat ICPE, IPA, dar și un număr însemnat de fabrici care au furnizat echipamentul necesar (UEPC, Electroaparataj, Electromagnetica, FCME, FEA etc.).

În sfîrșit, ținînd seama de diversitatea, complexitatea și nivelul parametrilor impuși, calitatea și în special cel mai competitiv dintre indicatorii acesteia, fiabilitatea, este, cum și era de așteptat, pe primul plan al activității de cercetare dezvoltată atît în institute, cît și în cadrul întreprinderilor.

Astfel produsele de larg consum cum sînt: frigiderele FRIGERO 180 l, tuburile cinescop, radioreceptoarele și televizoarele, precum și componentele electronice active și pasive, sînt supuse încercărilor de lungă, medie sau scurtă durată pe standurile construite în acest scop de către ICPE, Uzina de cinescoape, Electrofar, Uzina Electronica și IPRS-Băneasa.

De asemenea, mașinile, aparatele și materialele electrotehnice sau produsele profesionale cum sînt: sistemele UNILOG, aparatajul electric auto, tuburile fluorescente (LVF și LFA), lămpile cu incandescență, motoarele electrice (MCLE, AVM—1 și 2 MPU), cablurile electrice (LE și LDE) și condensatoarele de forță sau aparatele electronice de măsură, sînt supuse încercărilor de fiabilitate pe stand (încercări de conformitate

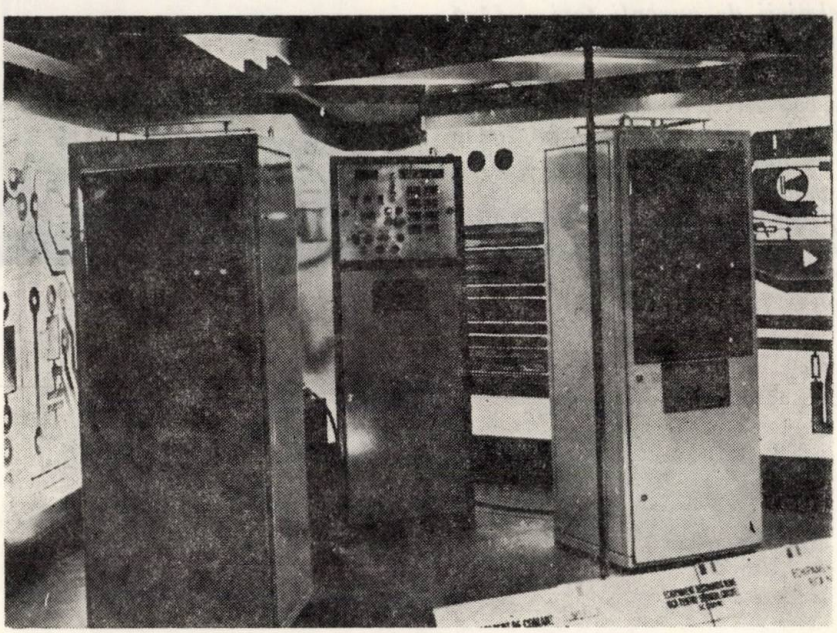
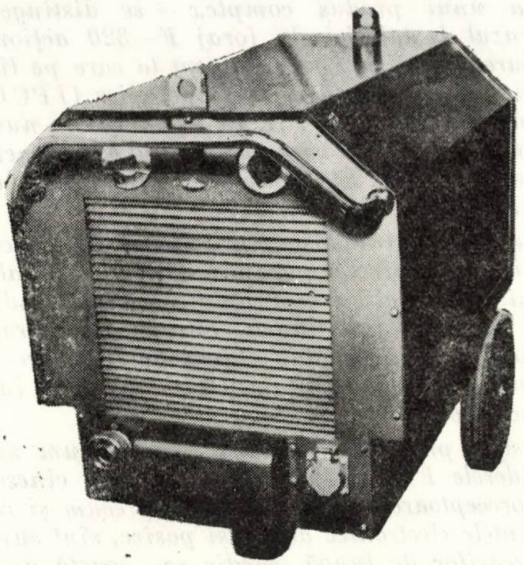
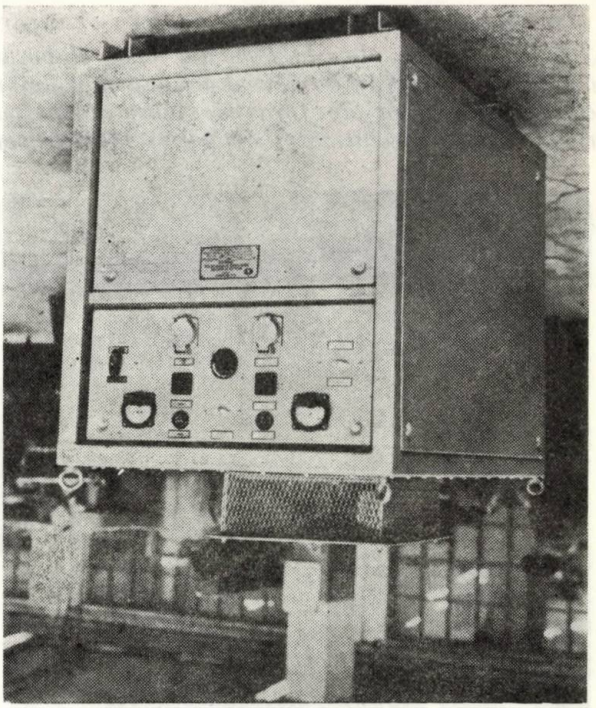


Fig. 12. Echipament de comandă numerică a mașinilor unelte din familia Numerom (123—2; 221—3; 224—4), concepție IPA

și încercări de durată) la IPA, Electroprecizia-Săcele, Electrofar, Fabrica Steaua Electrică — — Fieni, Electromotor-Timișoara ICME, în scopul determinării fiabilității normative sau sînt



a)



b)

Fig. 13. Redresoare de sudură tip RSA—350 (a) și RSA—1 000 (b) de concepție ICPE asimilate la Electrotehnica

urmărite în exploatare de către unitățile SERVICE ale întreprinderilor asistate de institute în scopul determinării fiabilității operaționale, a îmbunătățirii mentenabilității și disponibilității lor.

* * *

Alegînd această cuantă — anul — nu am evitat dificultatea de a scăpa din multitudinea de probleme, de rezolvări și trăiri, un număr important de realizări care chiar și în domeniul acesta restrîns al electrotehnicii de curenți tari — fără a mai socoti electronica și calculatoarele — tot ar fi putut fi menționate.

În egală măsură, colectivele de electrotehnicieni din țara noastră, înțeleg că există și numeroase dificultăți pe care le mai au de depășit; sîntem convinși însă că mobilizarea colectivelor și a resurselor, axarea pe problemele de interes deosebit, responsabilitatea față de sarcinile trasate de documentele de partid ce stau în fața noastră, vor face ca rezultatele în acest cincinal scurtat să fie deosebite.

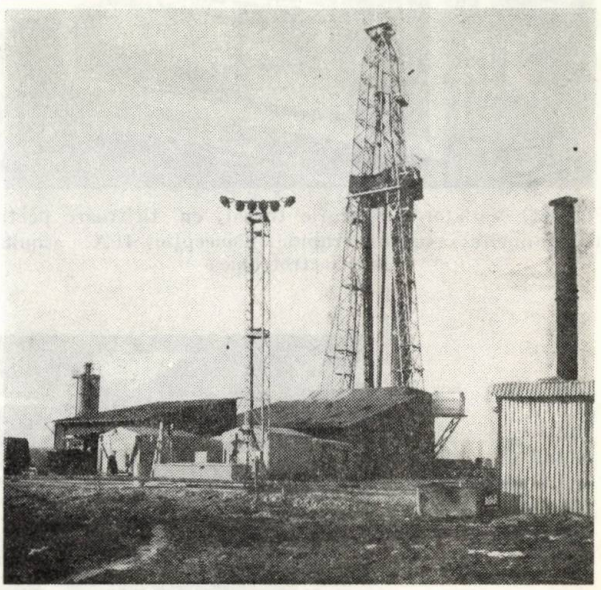


Fig. 14. Instalație de foraj acționată în c.c. tip F—320. Concepție pentru partea de acționare ICPE, IPA; execuție ICPE

Cu privire la performanțele mașinii sincrone cu excitație pe două axe

AUREL DOBRANIȘ și RĂZVAN MĂGUREANU* — București

CZ 621.313.32.045.

În ultima vreme, în literatura de specialitate este tot mai adesea recomandată utilizarea mașinilor sincrone cu excitație pe două axe, în scopul asigurării funcționării normale a rețelelor energetice, în situațiile în care în sistem apare un excendent de putere reactivă [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

Într-un articol anterior [6], a fost analizată comportarea generatoarelor sincrone de mare putere în cazul funcționării în regim de absorbție a puterii reactive, punîndu-se în evidență limitările care se impun în asemenea cazuri. S-au arătat totodată posibilitățile sporite de acoperire a unui astfel de regim de către mașinile sincrone cu excitație pe două axe, demonstrîndu-se că o asemenea mașină poate funcționa stabil pentru orice valoare a unghiului de sarcină, absorbția puterii reactive fiind limitată în această situație numai de condiții de ordin termic.

Experiența căpătată de autori în urma încercărilor efectuate pe un model fizic al unei astfel de mașini, cît și a simulărilor numerice pe calculator, a permis evidențierea comportării deosebit de avantajoase în regim de absorbție a puterii reactive a mașinii cu excitație pe două axe, față de construcția clasică.

În lucrarea de față se arată metoda utilizată pentru simularea numerică a unui generator sincron cu excitație pe două axe și se prezintă rezultatele obținute, comparativ cu acelea din cazul încercării modelului fizic de laborator.

Modelul matematic al mașinii sincrone cu excitație pe două axe

Pentru stabilirea modelului matematic al mașinii sincrone cu excitație pe două axe a fost utilizată metoda Park-Blondel, metodă unanim acceptată în lucrările de specialitate pentru studiul mașinilor sincrone de construcție clasică [8], [9], [10], [11], [12]. Conform celor arătate în [5], [6], la scrierea ecuațiilor trebuie luate în considerație circuitele fazelor statorice (A, B, C), ale celor două înfășurări de excitație (ea, er) și ale înfășurărilor de amortizare (ka, kr), ca în figura 1.

Toate mărimile s-au raportat la un sistem de axe atașate rotorului, care coincid cu axele r și a ale înfășurărilor de excitație reactivă și activă, dispuse la 90° ca în figura 1. Se mai precizează că pentru scrierea ecuațiilor s-au adoptat aceleași ipoteze utilizate la stabilirea ecuațiilor Park-Blondel ale mașinilor sincrone de construcție clasică [8], [9]. În condițiile arătate mai sus, a rezultat pentru mașina sincronă cu excitații pe două axe, următorul sistem de ecuații în unități relative :

$$\begin{vmatrix} r + x_r p & (1-\dot{\delta})x_a & x_{mr}p & (1-\dot{\delta})x_{ma} & x_{mr}p & (1-\dot{\delta})x_{ma} \\ -(1-\delta)x_r & r + x_a p & -(1-\dot{\delta})x_{mr} & x_{ma}p & -(1-\dot{\delta})x_{mr} & x_{ma}p \\ x_{mr}p & 0 & r_{er}+x_{er}p & 0 & x_{mr}p & 0 \\ 0 & x_{ma}p & 0 & r_{ea}+x_{ea}p & 0 & x_{ma}p \\ x_{mr}p & 0 & x_{mr}p & 0 & r_{kr}+x_{kr}p & 0 \\ 0 & x_{ma}p & 0 & x_{ma}p & 0 & r_{ka}+x_{ka}p \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_r \\ i_a \\ i_{er} \\ i_{ea} \\ i_{kr} \\ i_{ka} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -u\cdot\sin\delta \\ -u\cdot\cos\delta \\ u_{er} \\ u_{ea} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (1)$$

în care indicii r și a sînt afectați mărimilor după axele r, respectiv a atașate rotorului

Notațiile utilizate au aceleași semnificații ca și în cazul mașinii sincrone de construcție clasică, apărînd în plus doar înfășurarea de excitație și în cealaltă axă. Unghiul δ este măsurat între axa înfășurării reactive de excitație r atașată rotorului și axa cîmpului rezul-

* Dr. ing. *A. Dobraniș* și dr. ing. *R. Măgureanu* sînt șefi de lucrări la Catedra de mașini electrice din Inst. politehnic București

tant din întrefiere ψ_δ, a cărei direcție este legată rigid de fazorul tensiunii rețelei la care este cuplată mașina, el fiind diferit în acest caz de unghiul de sarcină, așa cum s-a arătat în [6].

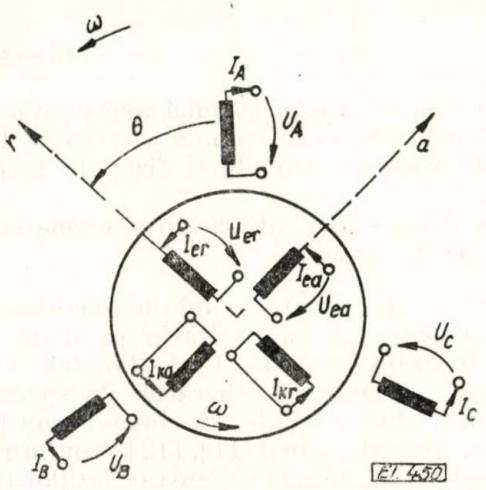


Fig. 1. Circuitele reale ale mașinii sincrone cu exciație pe două axe.

În aceleași condiții de mai sus, ecuația de mișcare a rotorului, în unități relative, poate fi scrisă:

$$H \cdot \ddot{\delta} + m_a + m = 0, \tag{2}$$

în care, H este constanta de inerție mecanică, $\ddot{\delta}$ — derivata a doua în raport cu timpul a unghiului δ, iar m_a și m reprezintă cuplul de antrenare, respectiv cuplul electromagnetic în u.r.

Utilizînd teorema forțelor generalizate rezultă expresia în u.r. a cuplului electromagnetic:

$$m = -(\psi_r i_a - \psi_a i_r), \tag{3}$$

care, după înlocuirea fluxurilor devine:

$$m = (x_a - x_r) i_a i_r - x_{mr} i_a (i_{er} + i_{kr}) x_{ma} i_r (i_{ea} + i_{ka}). \tag{4}$$

Prin analogie cu mașina de construcție clasică se notează:

$$e_{or} = x_{mr} i_{er}; \; e_{oa} = x_{ma} i_{ea}, \tag{5}$$

unde, e_{or} și e_{oa} reprezintă tensiunile electromotoare induse de către curenții din cele două înfășurări de excitație. Particularizînd ecuațiile (1) pentru cazul regimului staționar și neglijînd rezistența înfășurării indusului, rezultă pentru cuplul electromagnetic expresia:

$$m = \frac{u^2}{2}\left(\frac{1}{x_a} - \frac{1}{x_r}\right) \sin 2\delta + \frac{u \cdot e_{or}}{x_r} \sin \delta + \frac{u \cdot e_{oa}}{x_a} \cos \delta. \tag{6}$$

În mod similar, expresia puterii reactive va fi:

$$q = -\frac{u^2}{2}\left(\frac{1}{x_a} + \frac{1}{x_r}\right) + \frac{u^2}{2}\left(\frac{1}{x_a} - \frac{1}{x_r}\right) \cos 2\delta - \frac{u \cdot e_{oa}}{x_a} \sin \delta + \frac{u \cdot e_{or}}{x_r} \cos \delta. \tag{7}$$

Se observă că, introducînd $i_{ea} = 0$ în relațiile (6) și (7) ale cuplului și puterii reactive, acestea devin identice cu cele din cazul mașinilor de construcție clasică, prevăzute cu o singură înfășurare de excitație.

Așa cum s-a arătat în [6], pentru menținerea stabilității mașinii, tensiunea de excitație a înfășurării active trebuie reglată automat în funcție de abaterile poziției geometrice a rotorului față de cîmpul rezultant din întrefier, dată prin unghiul δ. În cazul de față, pentru alimentarea înfășurării de excitație activă s-a utilizat o punte redresoare comandată, monofazată, cu redresare bialternantă. Momentul aprinderii tiristoarelor α a fost comandat de regulatorul de unghi după următoarea relație:

$$\alpha = \alpha_0 \pm \Delta\delta, \tag{8}$$

în care, $\Delta\delta$ reprezintă abaterea poziției geometrice a rotorului față de cîmpul rezultant din întrefier, sesizată de traductorul de unghi geometric, iar α_0 — valoarea de regim a unghiului de aprindere, în jurul căreia are loc reglajul automat, ajustată din exterior în funcție de mărimea cuplului de antrenare pe arbore, respectiv de puterea activă a mașinii. Întrucît puntea redresoare a fost alimentată de la barele rețelei la care este cuplată mașina considerată, tensiunea la bornele înfășurării de excitație activă u_{ea} este de forma:

$$u_{ea} = |U_{pm} \cdot \sin \omega_s t| \text{ pentru } \omega_s t \in (k\alpha \div k\pi) \tag{9}$$

$$u_{ea} = 0 \qquad \text{pentru } \omega_s t \in (0 \div k\alpha),$$

unde, U_{pm} este amplitudinea tensiunii aplicate punții redresoare, iar k un număr întreg.

Organizarea calculului

Rezolvarea ecuațiilor stabilite anterior s-a făcut cu ajutorul unui calculator numeric de tip IBM—1130. Pentru programarea calcula-

torului s-a utilizat limbajul FORTRAN—IV [14].

În scopul integrării pe calculator, ecuațiile (1) s-au scris sub forma:

$$[DY] = [D]^{-1}[A] - [D]^{-1}[B]\cdot[Y], \quad (10)$$

în care $[D]$ și $[B]$ sînt matricele parametrilor, iar $[A]$, $[Y]$, $[DY]$ reprezintă matricele tensiunilor, curenților, respectiv derivatelor curenților.

Instrucțiile de programare au fost organizate într-un program principal și cinci subprograme de tipul SUBROUTINE. Subprogramele pot efectua înmulțiri și inversări de matrice, calculul elementelor matricei tensiunilor corespunzătoare fiecărui pas de integrare și integrarea sistemului de ecuații după metoda Runge-Kutta cu precizia de ordinul IV, efectuînd și un control automat al erorii [13], [12], [11]. Programul principal realizează citirea datelor (parametrii mașinii și valorile inițiale ale unor parametri funcționali), chemarea subrutinelor, schimbarea încărcării reactive a mașinii prin modificarea tensiunii înfășurării reactive de excitație, scrierea rezultatelor și oprirea automată a programului după timpul prescris inițial.

Cu acest program a fost posibilă rezolvarea sistemului de ecuații ale mașinii sincrone cu excitație pe două axe în aceleași cazuri cu cele experimentate pe un model fizic de laborator, rezultatele obținute, foarte apropiate sau identice, confirmînd principiile teoretice expuse în lucrarea anterioară [6].

Rezultatele verificărilor pe calculator electronic IBM—1130 și pe modelul experimental

Verificările efectuate prin calcul au fost însoțite de experiențe realizate pe un model fizic de laborator. Acest model al mașinii sincrone cu excitație pe două axe a constat dintr-o mașină sincronă de 3 kW; 1 000 rot/min, prevăzută cu două înfășurări de excitație dispuse la 90°. Principalii parametri ai modelului, în unități relative, au următoarele valori:

— rezistența înfășurării indusului, $r = 0{,}0755$;

— reactanța sincronă după axa înfășurării reactive, $x_r = 1{,}633$;

— reactanța sincronă după axa înfășurării active, $x_a = 1{,}556$;

— reactanța de scăpări a indusului, $x_\sigma = 0{,}347$;

— rezistența înfășurării reactive de excitație, $r_{er} = 0{,}327$;

— rezistența înfășurării active de excitație, $r_{ea} = 0{,}408$;

— constanta de inerție mecanică a grupului, $H = 1598$.

Cele două înfășurări inductoare sînt alimentate separat, de la două surse diferite. Înfășurarea activă este alimentată de o punte redresoare comandată alimentată de la barele rețelei. Înfășurarea reactivă este alimentată de la un generator de curent continuu cu excitație separată, care printr-un inversor permite și schimbarea sensului curentului din această înfășurare. Traductorul de unghi geometric trimite impulsuri către dispozitivul de comandă pe grilă, care realizează comanda tiristoarelor. Pentru înregistrarea poziției rotorului s-a utilizat un dispozitiv cu celulă fotoelectrică, care realizează impulsuri triunghiulare de amplitudine proporțională cu valoarea unghiului dintre axele geometrice ale rotorului și fazorul tensiunii rețelei.

Încercările efectuate au avut în vedere verificarea funcționării mașinii la unghiuri de sarcină cît mai apropiate de 180°, situație în care, după cum este binecunoscut, mașinile de construcție clasică nu pot funcționa stabil. Pentru realizarea unghiurilor de sarcină avînd asemenea valori, a fost necesară reducerea către zero a sarcinii active, respectiv a cuplului de antrenare, și totodată inversarea curentului de excitație din înfășurarea reactivă. Curentul din înfășurarea activă, reglat automat după abaterea poziției geometrice a rotorului, a avut o valoare medie redusă, corespunzător încărcării active a mașinii.

Pentru a evidenția mai bine avantajele oferite de utilizarea a două înfășurări de excitație, în scopul îmbunătățirii stabilității mașinilor sincrone, se prezintă cu titlu demonstrativ și rezultatele obținute la încercarea modelului descris anterior, în cazul în care a funcționat cu o singură înfășurare de excitație (înfășurarea reactivă), asemănător cu mașina de construcție clasică. În acest caz nu s-a putut trece peste o limită minimă a excitației, situată în jurul valorii de +0,15 u.r., sub care mașina a ieșit din sincronism. Oscilograma ridicată în acest caz este redată în figura 2.

Unghiul δ dintre axa înfășurării de excitație (reactivă) și direcția fluxului rezultant din întrefier, perpendicular pe fazorul tensiunii rețelei, este dat prin amplitudinea impulsurilor triunghiulare din partea de jos a oscilogramei, el fiind în acest caz egal chiar cu unghiul de sarcină. Se vede pe oscilogramă că la întreruperea excitației minime rotorul se desprinde, unghiul δ crescînd rapid. Rezultatele obținute în acest caz prin rezolvarea ecuațiilor mașinii pe calculatorul numeric, după metode indicată mai înainte, sînt prezentate în figura 3.

Calculul arată, de asemenea, că excitația nu poate fi redusă sub limita minimă stabilită, fără ca mașina să-și piardă sincronismul. Aceste rezultate confirmă cele cunoscute din teoria mașinilor de construcție clasică.

Același model, lucrînd cu ambele înfășurări de excitație, după principiile stabilite în

lucrarea anterioară [6], a permis depășirea netă a limitelor mașinii prevăzute cu o singură înfășurare de excitație. În oscilograma prezentată în figura 4 se pot vedea înregistrate mărimile caracteristice funcționării mașinii în

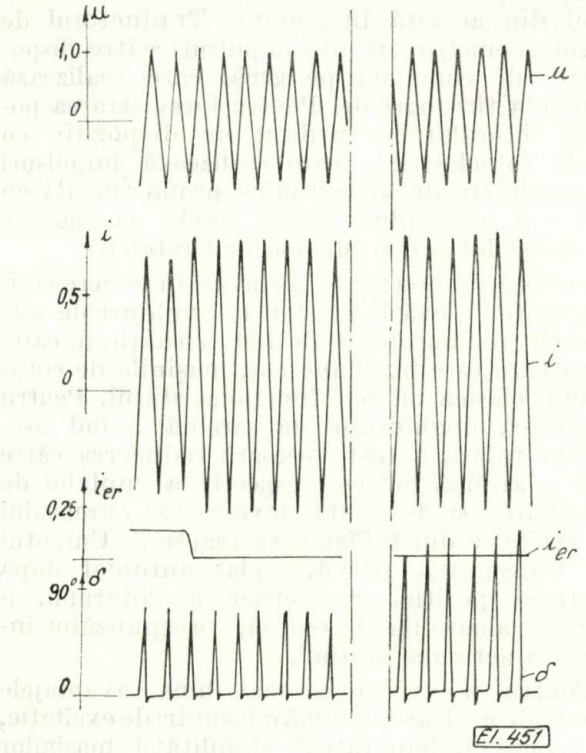


Fig. 2

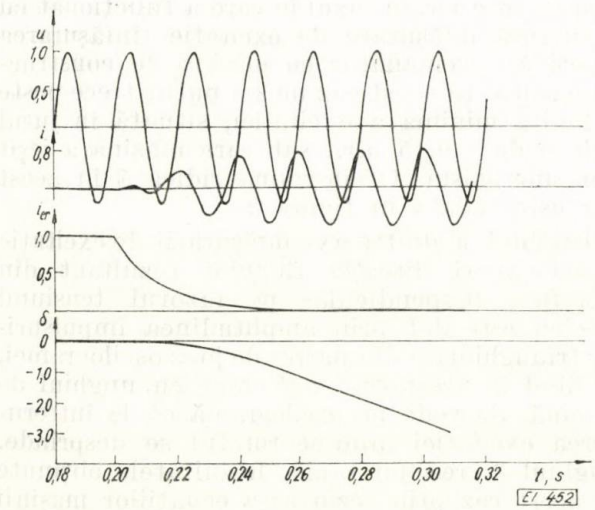


Fig. 3

regim capacitiv, puterea reactivă absorbită depășind cu mult limitele puterii aparente nominale.

Curentul statoric i, defazat capacitiv, a fost de 1,62 ori mai mare decît curentul nominal. Înfășurarea de excitație reactivă a fost străbătută de un curent de sens negativ i_{er}, de 1,54 ori mai mare decît cel nominal. Abaterile axei înfășurării reactive față de axa fluxului rezultant din întrefier, date prin unghiul δ, se văd în partea de jos a oscilogramei, fiind destul de reduse, foarte apropiate de zero, ca urmare a reglajului automat al excitației active. Curentul i_{ea} din înfășurarea de excitație activă are formă de impulsuri, fiind obținut de la puntea redresoare comandată. Se vede că amplitudinea impulsurilor este mai mare sau mai mică, după cum rotorul are tendința de a-și modifica poziția prin accelerare sau frînare. Urmărind simultan funcționarea pe diagrama fazorială din figura 5 și pe oscilograma din figura 4, constatăm că datorită reglajului automat al solena-

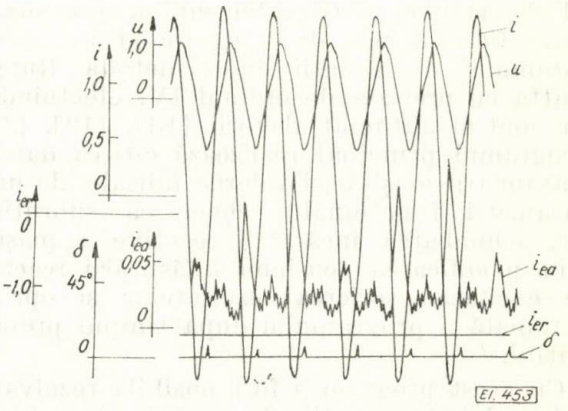


Fig. 4

ției excitației active în funcție de abaterile unghiului geometric δ, mașina poate funcționa stabil și la unghiuri de sarcină foarte mari,

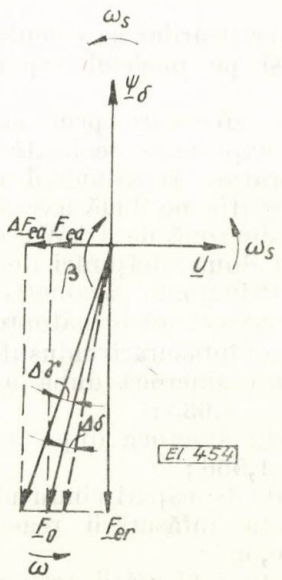


Fig. 5

apropiate de 180°, așa cum s-a arătat pe cale teoretică în [6]. Astfel, o tendință de accelerare a rotorului duce la mărirea unghiului dintre

axa înfășurării reactive și cea a fluxului rezultant din întrefier cu valoarea $\Delta\delta$, ceea ce pe oscilograma prezentată se constată prin mărirea amplitudinii impulsurilor triunghiulare care dau valoarea unghiului geometric. Din acest motiv, primul tiristor care urmează a conduce, se va aprinde în avans, făcînd ca amplitudinea curentului de excitație din înfășurarea activă să crească, așa cum se observă pe oscilograma prezentată. Aceasta conduce la reducerea unghiului de sarcină β cu valoarea $\Delta\gamma$, rezultînd o creștere a puterii electromagnetice dezvoltate care va face ca rotorul să aibă în continuare tendința de a frîna, anulînd efectul perturbației inițiale. Astfel, ca urmare a reglajului automat al curentului de excitație din cea de a doua înfășurare inductoare, în funcție de abaterile unghiului geometric δ, rotorul este readus de fiecare dată în punctul de funcționare stabilit, caracterizat de un unghi de sarcină β apropiat de 180°, în care mașina absoarbe o putere reactivă însemnată, depășind în cazul acestui exemplu de 1,5 ori puterea aparentă nominală a mașinii.

Peste curentul forțat al înfășurării active de excitație se suprapun numeroase armonici de ordin superior. Ele se datoresc tensiunii induse în înfășurarea de excitație activă, studiul lor fiind abordat în [7]. Rezolvarea ecuațiilor mașinii sincrone cu excitație pe două axe, pentru regimul de funcționare prezentat în oscilograma din figura 4, utilizînd calculatorul IBM—1130, a permis obținerea rezultatelor ilustrate de figura 6.

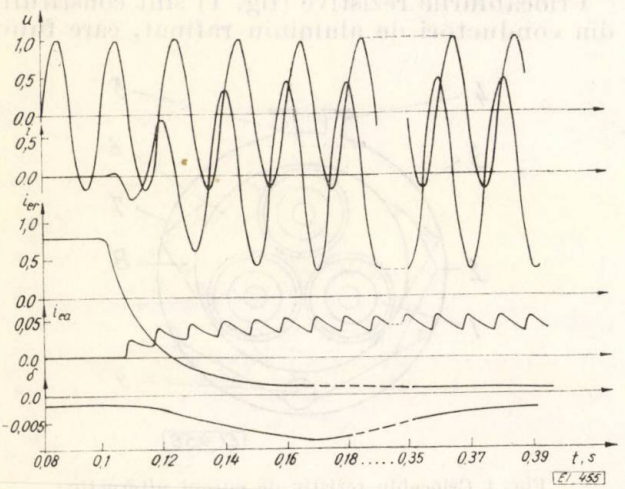


Fig. 6

Se observă că acestea confirmă rezultatele obținute pe modelul fizic, care au fost prevăzute pe cale teoretică în [6]. Ultima porțiune a curbelor din figura 6 reprezintă regimul stabilizat al funcționării mașinii, la parametri foarte apropiați de cei realizați la ridicarea oscilogramei din figura 4. Neglijarea frecărilor în lagăre face ca pe calculator să nu apară salturi bruște ale unghiului geometric δ, care se menține la valori foarte reduse, practic nule, curba variației acestuia, din figura 6, fiind trasată la o scară mult mărită. Aceasta face ca și impulsurile curentului de excitație din înfășurarea activă să fie mai regulate. Totodată, ipoteza neglijării armonicilor de ordin superior, făcută cu ocazia scrierii ecuațiilor mașinii, duce la dispariția armonicilor din curba curentului de excitație al înfășurării active de excitație, încît curba de variație a acestuia nu mai conține vîrfuri prea ascuțite ca în cazul încercărilor pe modelul fizic.

Toate aceste rezultate arată că mașina sincronă prevăzută cu două înfășurări de excitație, prezintă posibilități mult sporite față de soluția clasică, în ceea ce privește mărimea limitelor de funcționare stabilă al acesteia, pentru o gamă largă de variație a excitației reactive, respectiv a puterii reactive schimbate de mașină cu rețeaua.

Concluzii

— Simularea numerică a funcționării mașinii sincrone cu excitație pe două axe în regim de absorbție a puterii și încercările efectuate pe un model fizic de laborator, au arătat că acest tip de mașină poate funcționa stabil și la valori mari ale unghiului de sarcină, apropiate de 180°, cărora le corespund sarcini reactiv-capacitive importante în raport cu puterea sa nominală.

— Modelul matematic utilizat, cît și metoda folosită pentru rezolvarea sistemului de ecuații, conduc la rezultatele foarte apropiate, practic identice, cu acelea obținute la încercările pe model.

— Metoda de calcul utilizată, poate fi extinsă și pentru studiul altor regimuri, de funcționare, dintre care funcționarea pe o aceeași rețea a mai multor astfel de mașini reprezintă una dintre cele mai însemnate probleme, fiind în prezent în atenția autorilor.

Bibliografie

[1] *Soper, J. A.* și *Fagg, A. R.* Divided-winding-rotor synchronous generator. În: Proceedings IEE, **116**, nr. 1, 1969, p. 113—126.

[2] *Kapoor, S. C., Kalsi, S.S.* și *Adkins, B.* Improvement of alternator stability by controled quadrature excitation. În: Proceedings IEE, **116**, nr. 5, 1969, p. 771—780.

[3] x x x Divided-winding rotor for 500 MW generator on test. În: Electrical Review, **187**, nr. 25, 1970, p. 886—887.

[4] *Rama Murthi, M.* și *Hogg, B.W.* Transient performance of doubly excited synchronous machine. În: Proceedings IEE, **118**, nr. 1, 1971, p. 143—147,

[5] *Dobraniș, A.* Considerații privind mașinile sincrone cu excitație pe două axe. În: St. cerc. energ. electr., tom **22**, nr. 1, 1972, p. 207—215.

[6] *Dobraniș, A.* Funcționarea generatoarelor sincrone de mare putere în regim de absorbție a puterii reactive. În : Electrotehnica, **20**, nr. 2, 1972, p. 52.

[7] *Apetrei C.* și *Dobraniș, A.* Operation of the synchronous machine with supplementary excitation winding upon the transverse axis. În : Rev. roum. sci. techn., série électrotechn. et énerg., Tom **18**, nr. 2, 1972 p. 285—300.

[8] *Adkins, B.* The general theory of electrical machines. Chapman Hall, London, 1959.

[9] *Gheorghiu, I. S.* și *Fransua, Al.* Tratat de mașini electrice, vol. **IV**. Mașina sincronă. Ed. Acad. RSR, București, 1972.

[10] *Micu, E.* Studiul regimului tranzitoriu al mașinii sincrone cu calculul numeric. În: Electrotehnica, **19**, nr. 8, 1971, p. 287—292.

[11] *Olive, D. W.* Digital simulation of synchronous machine transients. IEEE Trans. on PAS, **87**, nr. 8, 1968, p. 1669—1675.

[12] *Subramanian, P.* și *Malik, O.P.* Digital simulation of a synchronous generator in direct-phase quantities. În : Proceedings IEE, **118**, nr. 1, 1971, p. 153—160.

[13] *Salvadori, M. G.* și *Daron, M. L.* Metode numerice în tehnică. (Trad. din limba engleză). Ed. tehn., București, 1972.

[14] *Dimo, P.* Programarea în FORTRAN. Ed. did. și ped., București. 1971.

Aspecte cu privire la construcția și utilizarea cablurilor criogenice în rețelele și sistemele electromagnetice

CONSTANTIN CRUCERU* — București

CZ 621.312.2:621.59:621.311.1

Dezvoltarea impetuoasă a industriei necesită producerea și livrarea unor cantități foarte mari de energie electrică, de către centrale electrice echipate cu grupuri electrogene puternice. Transportul energiei electrice produsă de aceste grupuri, prin rețele electrice în cablu cu pierderi minime, este foarte dificil utilizînd procedeele clasice actuale în construcția cablurilor de energie. În acest scop, calculele tehnico-economice au pus în evidență faptul că, transportul puterilor electrice (produse în centrale) de peste 1 GVA și la tensiuni de peste 1...1,5 MV, prin cabluri de energie clasice, este practic ineficient, din punct de vedere tehnic și economic, datorită dificultăților cauzate de pierderile mari prin efect Joule, volumul apreciabil al pierderilor dielectrice, costurile ridicate de transport al energiei electrice, etc. Pentru reducerea și eliminarea acestora au fost efectuate, în ultimii ani numeroase cercetări, avînd ca scop principal găsirea unor noi soluții tehnice, pentru transportul energiei electrice prin cabluri, care să permită în mod substanțial micșorarea pierderilor electrice, prin utilizarea, în rețelele electrice a cablurilor criogenice [1], [2], [3].

Principiul de funcționare a cablurilor criogenice constă în mărirea conductibilității conductoarelor cablurilor, prin scăderea temperaturii acestora și creșterea, pe această bază, a posibilității de transmisie prin cabluri a unor puteri și curenți foarte mari. Scăderea temperaturii părții conductoare a cablurilor provoacă, odată cu diminuarea rezistivității lor, tranziția cablurilor la starea de supraconductibilitate caracterizată printr-o anumită temperatură critică la care rezistivitatea devine practic nulă [4], [5], [6], [7]. Criocablurile pot fi de curent alternativ și de curent continuu.

1. Criocablurile de curent alternativ [8, 9]

Acestea au două forme constructive și anume : cabluri flexibile, cu izolație electrică solidă, din folii de hîrtie sau polietilenă, menținute sub presiune de fluid criogenic ; cabluri rigide, de tip tubular, izolate electric prin vid.

Criocablurile de curent alternativ, se mai împart în : cabluri rezistive sau hiperconductoare și cabluri supraconductoare.

Criocablurile rezistive (fig. 1) sînt constituite din conductori de aluminiu rafinat, care funcționează la temperaturi foarte joase, permițînd astfel mărirea conductibilității și, deci, reducerea substanțială a pierderilor Joule. În timpul funcționării, efectul pelicular și curenții Foucault, care iau naștere în aceste cabluri, au valori importante, pentru a căror diminuare se segmen-

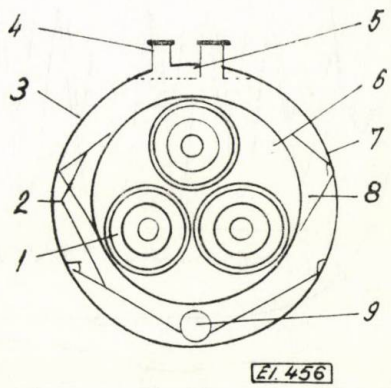


Fig. 1 Criocablu rezistiv de curent alternativ :

1 — cablu electric ; *2* — suspensie din fir de oțel ; *3* — manta de oțel ; *4* — orificiu de pompare ; *5* — canalizare de pompare *6* — azot lichid ; *7* — pulbere sub vid ; *7* — pulbere sub vid (izolație termică) ; *8* — manta de invar pentru 77°K ; *9* — azot lichid (retur).

* Dr. ing. *C. Cruceru* este șef de laborator la Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică București.

tează conductoarele cablurilor în mod corespunzător. Pentru ca temperatura de funcționare a cablurilor să fie optimă, este necesar să se cunoască, în prealabil, caracterul de variație a rezistivității aluminiului cu temperatura, în așa fel încît să se obțină o anumită temperatură critică de funcționare, realizabilă în regim permanent, prin refrigeratoare și carcase criogenice adecvate. În acest scop se izolează fazele cablurilor, din punct de vedere electric, fie cu o izolație fluidă din azot lichid, fie cu o izolație solidă, compusă din folie de hîrtie sau polietilenă, asociată cu o izolație de azot lichid (fig. 2). Materialele cu cele mai bune proprietăți dielectrice, utilizate la izolarea criocablurilor rezistive, sînt materialele electroizolante poroase (hîrtia, polietilena, policloroprenul), impregnate cu azot lichid, sub o presiune de cîțiva bari. Pentru ca criocablurile rezistive să funcționeze în condiții optime, este necesară ecranarea fazelor lor cu ecrane de mare conductibilitate, care să contribuie, în mod suplimentar, și la reducerea continuă a pierderilor Joule. Ecranarea se poate efectua prin ecrane individuale, pe fiecare fază, sau prin ecrane comune tuturor fazelor.

Criocablurile supraconductoare [10], [11], se caracterizează prin aceea că partea lor conductoare este constituită din materiale supraconductoare. Un supraconductor nu are o rezistență măsurabilă în curent continuu, dar revine la starea rezistivă, dacă se depășesc valorile critice ale temperaturii curentului sau cîmpului magnetic. La cîmpuri magnetice mici sau nule, curentul este limitat la un strat superficial, de grosime infimă, realizat din folii organice subțiri, sau tuburi cu pereți subțiri. Capacitatea de încărcare a unor asemenea cabluri poate fi exprimată prin raportul curentul critic și unitatea de grosime (A/mm). Pierderile în curent alternativ, la asemenea cabluri, se pot exprima prin pierderi pe unitatea de suprafață (W/m²). Curentul critic în criocablurile supraconductoare descrește cu creșterea temperaturii și scade la zero, la temperatura critică. Pentru a se atinge o capacitate maximă de încărcare, temperatura de funcționare a criocablurilor trebuie să se situeze mult sub valoarea critică. Temperaturile critice ale tuturor supraconductoarelor cunoscute sînt mai mici decît 21°K și pot fi asigurate prin utilizarea ca mediu de răcire a heliului lichid. Deoarece costul refrigerării este mare și crește cu scăderea temperaturii, este foarte important să se reducă toate sursele de scădere a refrigerării și să se utilizeze materiale conductoare, care au curentul critic maxim pe unitatea de grosime, cu pierderi minime, în curent alternativ pe unitatea de suprafață la temperaturi cît mai ridicate. Pentru a se obține condițiile menționate, trebuie să se placheze, partea conductoare a criocablurilor, cu un strat metalic normal, care poate transporta, de asemenea, și curenții de avarie, a căror densitate trebuie aleasă astfel, încît în timpul scurtcircuitului să se mențină stabilitatea termică a cablurilor. Acest strat reprezintă și un suport mecanic pentru supraconductor.

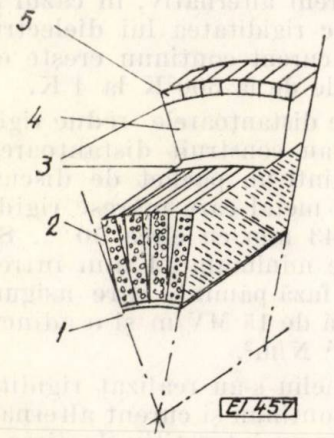


Fig. 2. Criocablu rezistiv de curent altenativ:
1 — suport mecanic (tub plastic permeabil la fluid); *2* — conductoare de fază; *3* — pelicule echipotențiale; *4* — bandă de polietilenă impregnată cu azot lichid sub presiune; *5* — ecran electric din aluminiu.

Materialele supraconductoare ale criocablurilor sînt de două tipuri: tipul I de supraconductor, cum este plumbul, transportă curenți într-un strat superficial, de ordinul a 10^{-4} mm grosime, în cîmpuri magnetice, pînă la valoarea critică H_c, peste care materialul revine la starea normală; tipul II de supraconductor, cum sînt niobiul și aliajele sale, precum și aliajele de plumb, au o comportare similară cu cele de tipul I, la cîmpuri magnetice pînă la o valoare critică mai joasă H_{c1}. La cîmpuri mai mari, pînă la o valoare limită H_{c2}, acestea trec într-o stare „mixtă", în care penetrarea curentului este adîncă. Fără un cîmp magnetic extern aplicat, curentul critic crește, cu grosimea conductorului, către o valoare limită corespunzătoare cîmpului propriu, care în mod uzual este mai mare decît H_{c1}, dar considerabil mai mică decît H_{c2}. Cu materialele existente în prezent, pierderile în curent alternativ, în stare mixtă, sînt mari, ceea ce face ca transportul energiei în curent alternativ, prin cabluri să fie neeconomic.

Condiția realizării unei capacități de încărcare cu curent cît mai mare și cu pierderi minime în curent alternativ, se asigură cu un H_c maxim, pentru un supraconductor de tipul I și un H_{c1} maxim, pentru un supraconductor de tipul II. Niobiul și plumbul, spre deosebire de aliajele lor, îndeplinesc condiția de mai sus. Alegerea rămîne, deci, să se facă între niobiu, pentru care H_{c1} la 4,2°K este $1{,}1 \times 10^5$ A/m (corespunzător la un raport curent eficace/unitatea de grosime de $7{,}8 \times 10^4$ A/m) corespunzînd unui curent eficace/unitatea de grosime, de

3×10^4 A/m și $T_c = 7{,}2$°K. Niobiul are o capacitate de încărcare cu curent mai mare și este mai rezistent la șocuri mecanice. Studiile comparative de cost au arătat că se obține un cost global mai redus la cabluri la care densitatea de curent este maximă. Niobiul satisface cel mai bine această condiție, deși este un material mai scump.

Pierderile în curent alternativ în foliile de niobiu sînt independente de grosime, dar depind numai de starea suprafeței. Din acest motiv se utilizează folii cu o grosime de 25 μm. Într-un criocablu supraconductor va exista, în mod inevitabil, un gradient termic de-a lungul conductorului și este important să cunoaștem variația pierderilor cu temperatura. Calculele preliminare au pus în evidență că pierderile pînă la circa 0,1 W/m² pot fi tolerate. De aceea, se consideră ca optimă densitatea maximă de curent de $3{,}6 \times 10^4$ A/m în criocabluri supraconductoare.

Pentru asigurarea unor condiții optime de suprasarcină s-a demonstrat că materialul ales, ca strat de căptușire a unui criocablu rezistiv de curent alternativ este aluminiul cu puritatea de 99,999%, avînd rezistivitatea, în curent continuu la 4,2° K, de $1{,}5 \times 10^{-11}$ ohmi cm. Nici un alt material cu o rezistivitate atît de mică nu este utilizabil la un cost rezonabil. Grosimea peliculară la 50 Hz și 4°K este 0,276 mm. Totuși, în condiții de avarie, rezistivitatea crește prin efectul magnetostrictiv. S-a estimat că, la un curent de avarie cu un cîmp propriu maxim de $3{,}6 \times 10^5$ A/m (corespunzînd la o desitate de curent normală de $3{,}6 \times 10^4$ A/m, valoarea eficace), grosimea peliculară și rezistența de suprafață cresc cu 33 %. Sînt necesare de aceea grosimi radiale ale aluminiului pînă la 7 mm pentru a se asigura o rezistență mecanică corespunzătoare a cablurilor obținerea unei densități mari de curent în criocablurile supraconductoare de curent alternativ, în timpul unei suprasarcini, impune ca temperatura conductorului să nu depășească 20°K deoarece, peste această temperatură, rezistivitatea este $2{,}7 \times 10^{-11}$ ohmi m. și ținînd seama de efectul magnetorezistiv în condiții de avarie, grosimea peliculară efectivă este 0,49 mm. Pentru grosimi de conductoare de cîțiva milimetri, rezistența efectivă de suprafață de 20°K este $0{,}97 \times 10^{-7}$ ohmi. Coeficientul de transfer de căldură între suprafața conductoare și heliul de răcire se ia egală cu 400 W/m²K. Căldura disipată de o singură avarie este 6 KJ pe metru pătrat de conductor. Dacă temperatura maximă a fluidului de răcire este inițial de 5°K, pentru a se preveni o încălzire excesivă, raportul dintre secțiunea mediului de răcire și perimetrul conductorului nu trebuie să fie mai mic de 0,02. Pentru densități de curent mai mici decît cele maxime, acest raport poate fi redus proporțional, pentru o disipare mai redusă.

Joncțiunile criocablurilor au un rol foarte important. Calculele au arătat că la joncțiuni rezistivitatea trebuie să fie de $1{,}5 \times 10^{-11}$ ohmi m pentru o grosime a joncțiunii de 1 mm și de $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ ohmi m pentru o grosime a joncțiunii de 3 mm. Adoptarea unor joncțiuni cu grosimea de 3 mm este nerecomandabilă deoarece pentru densități de curent periferice de peste $3{,}6 \times 10^4$ A/m și distanțe între joncțiuni de peste 20 m, pierderile medii în conductoare devin prea mari, atingînd valori de peste 0,01 W/m². Dacă rezistivitatea crește mult la suduri, sînt necesare joncțiuni separate ale niobiului.

Alegerea izolației este determinată de : realizarea unui ansamblu compact al conductorului ; încălzirea redusă în fluidul de răcire ; o structură ce poate fi asamblată și răcită fără deteriorarea dielectricului sau supraconductorului. În acest scop s-au ales ca dielectrici vidul și heliul, în prezența izolațiilor normale ale cablurilor (hîrtie, polietilenă ș.a.). Valorile medii superioare pentru curentul de scurgere și pierderile dielectrice (θ și tg. δ) ale acestor materiale s-au presupus a fi :

$$\theta = 10^{-6} \text{ A/m}^2 \text{ și } \operatorname{tg}\delta = 5 \times 10^{-5}.$$

Informațiile privind utilizarea vidului la temperaturi joase sînt relativ puține. Punctul slab, din punct de vedere electric, în acest caz se află la tripla joncțiune a conductorului, distanțorului solid și a vidului. În cazul utilizării vidului ca dielectric este recomandabil să se utilizeze ca material supraconductor niobiul în locul plumbului deoarece descărcările parțiale în curent alternativ, în cazul niobiului în vid, măresc rigiditatea lui dielectrică, iar rigiditatea în curent continuu crește cînd temperatura scade de la 300°K la 4°K.

Deoarece distanțoarele reduc rigiditatea dielectrică, s-au construit distanțoare interfazice constînd dintr-un pachet de discuri de sticlă și plăci de metal care măresc rigiditatea unui spațiu de 43 mm cu circa 50 %. S-au stabilit distanțe de minimum 14 mm între faze și 12,7 mm între fază-pămînt, care asigură o rigiditate optimă de 15 MV/m și o adîncime a vidului de 10^{-4} N/m².

Pentru heliu s-au realizat rigidități maxime în curent continuu și curent alternativ de peste 40 MV/m la un interstițiu de circa 1 mm și la presiunea de 1 MN/m² și $\operatorname{tg}\delta \leqslant 10^{-7}$.

Ținînd seama de datele de mai sus, în cazul heliului, s-au ales distanțele minime : de 10,5 mm între conductoare, între faze și 9 mm fază — pămînt, corespunzător unei rigidități medii de 20 MV/m și presiunii de 0,3—1,0 MN/m².

Pentru a se asigura condiții optime de funcționare cele mai adecvate geometrii ale cablurilor criogenice pot fi [12], [13] una sau dou

perechi coaxiale separate, pe fază, conținute într-o conductă exterioară cu fluid de răcire, un aranjament coaxial triplu, în care conductoarele celor trei faze sînt concentrice. Al doilea aranjament duce la dimensiuni globale mai mici și necesitatea unei cantități mai mici de material conductor.

Protecția mantalei criogenice constă, în principal, dintr-o conductă de oțel rigidă, care conține ecranul de radiație. Acest ecran înconjoară conductoarele și este răcit prin circulație de azot sau heliu gazos. Pentru a preveni scurtcircuitarea termică între conductoarele (de răcire de ducere și de întoarcere), se divizează ecranul de radiație în două secțiuni semicilindrice, izolate termic una de alta prin separatoare de polipropilenă. Izolația termică între tubul exterior și ecran este furnizată de un strat de 10 mm, din folie de aluminiu și fibră de stică sau hîrtie, la o presiune de 10^{-2} N/m^2, sau chiar mai mică. Acest strat este înfășurat pe tuburi de polipropilenă de 2 m lungime, care sînt fixate prin distanțoare. Izolația termică între ecran și sistemul de conductoare constă într-un spațiu vid. Pentru micșorarea contracției termice, conductele fluidului de răcire și ecranul de radiație constau dintr-un oțel cu expansiune redusă.

Pentru izolația electrică a cablurilor supraconductoare se utilizează mai mult vidul sau heliul și în mai mică măsură dielectricii solizi, deoarece dielectricii solizi au pierderi dielectrice mari. Cu toate acestea, cercetări recente au arătat că există materiale solide, cu pierderi dielectrice mai reduse, care pot fi utilizate pentru izolația cablurilor supraconductoare.

Figura 3 redă construcția unor astfel de cabluri izolate cu polietilenă și heliu lichid.

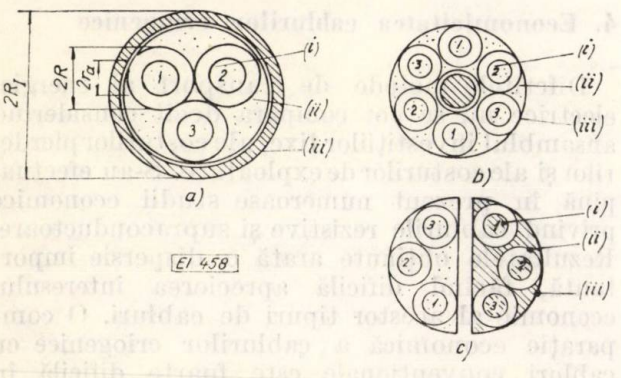


Fig. 3 — Tipuri constructive de cabluri supraconductoare izolate cu dielectric solid;

(*i*) — conductor de fază; (*ii*) — conductor neutru; (*iii*) — limita învelișului la −4°K;

1 — dielectric solid; *2* — heliu; *3* — întoarcerea heliului; *4* — vid; *a* — o pereche pe fază ($N = 3$); *b* — două perechi pe fază ($N = 6$) *c* — două perechi pe fază cu secțiune transversală.

Din datele obținute prin încercarea unor izolanți cu grosimi de circa 10^{-1} mm, supuși la solicitări electrice destinate criocablurilor a reieșit că polimerii nepolari sînt materialele cu pierderi dielectrice mai reduse. În acest scop s-a evaluat că pentru polietilenă, polipropilenă și poliamide, la o temperatură de circa 5°K, pierderile dielectrice sînt $\operatorname{tg} \delta = 2{,}5 \times 10^{-5}$.

2. Criocabluri de curent continuu

Transportul energiei prin criocabluri de curent continuu are anumite avantaje față de criocablurile de curent alternativ.

La criocablurile rezistive de curent continuu toate pierderile suplimentare în conductor prin efect pelicular, curenții Foucault și toate pierderile dielectrice sînt neglijabile; nu mai este necesară, deci, segmentarea conductoarelor.

La criocablurile supraconductoare, un curent convenabil duce la pierderi electrice, practic neglijabile în conductor și în izolantul electric. Sistemul de refrigerare are, în acest caz, numai scopul menținerii conductorului la temperatură foarte joasă. Aceasta a făcut ca pentru transportul în curent continuu să se adopte numai cabluri supraconductoare.

Din punct de vedere constructiv cablurile supraconductoare de curent continuu sînt asemănătoare cu cele de curent alternativ de tip flexibil (fig. 4).

O soluție posibilă constă în dispunerea cablurilor electrice monopolare într-o manta din oțel prin care circulă heliu. Conductorul este constituit din fascicule de conductoare elementarea din Nb_3Sn, stabilizate cu cupru sau aluminiu. Izolația electrică poate fi realizată din benzi de polipropilenă sau polietilenă în heliu, în faza supracritică.

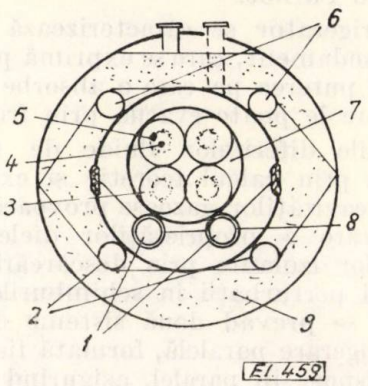


Fig. 4. Criocablu supraconductor de curent continuu:

1 — heliu (retur); *2* — azot (ducere); *3* — folie din polietilenă; *4* — conductor constituit dintr-un fascicul de conductoare elementare; *5* — suport mecanic; *6* — azot (retur); *7* — heliu (ducere); *8* — izolație termică; *9* — pulbere (alumină) sub vid.

Se pot construi, de asemenea, conductoare formate din tuburi de cupru foarte pur, acoperite cu un strat subțire de material supraconductor obținut prin difuzie. Izolația electrică poate fi realizată fie în vid, fie din izolant solid, înfășurat în vid și polipropilenă,

3. Metode de refrigerare a criocablurilor [6], [13], [14], [15]

Sistemele de refrigerare a criocablurilor au, în principal, rolul de producere și menținere a frigului în aceste cabluri. Configurația liniară a unui cablu criogenic face ca suprafețele de schimb cu mediul, la temperatura ambiantă, să fie relativ mari. Pierderile prin radiație, conducție și convecție trebuie să fie limitate printr-o izolație termică eficace. Pentru cablurile supraconductoare, între 4,4 și 77°K, această izolație poate fi asigurată de un spațiu vid. Nivelul de temperatură de 77°K este menținut printr-un ecran termic, realizat în general din aluminiu, răcit prin tuburi în care circulă azot lichid. Izolația, între 77 și 300°K, poate fi realizată, fie dintr-un supraizolant din folii de polietilenă aluminizată, fie din pulberi de alumină. Supraizolantul prezintă o eficacitate mai bună pentru o grosime dată, dar costul este ridicat și, în plus, nu trebuie supus la nici o solicitare. Pulberea în vid are performanțe mai puțin bune și trebuie utilizată cu grosimi mai mari.

Mantaua criogenică constituie o parte importantă a elementelor care intră în construcția unui criocablu. Diferitele pierderi produse într-un criocablu sînt evacuate prin fluide criogenice cu circulație forțată, azot (77—87°K) sau heliu (4,4—5°K) și absorbite de stații de refrigerare repartizate la distanțe egale de-a lungul cablurilor, distanțe alese din considerații tehnice, economice și de exploatare.

Importanța economică a pierderilor este mare din cauza randamentului scăzut al mașinilor criogenice, datorită în special randamentului ciclului Carnot.

Un refrigerator se caracterizează printr-un anumit randament, care se exprimă prin raportul dintre puterea pe care o absorbe și pierderile pe care le poate evacua prin frig.

Presiunile diferitelor fluide de refrigerare sînt alese prin calcul teoretic și experimetal. Prezența cavităților gazoase provoacă un efect de micșorare a proprietăților dielectrice ale materialelor izolante prin descărcări parțiale, precum și perturbații în schimburile termice. În viitor se prevăd două sisteme de refrigerare : refrigerare paralelă, formată fie din două cabluri dispuse în paralel, asigurînd circulația în ambele sensuri ale fluidului (fig. 5) și refrigerarea monobloc prin utilizarea unui singur cablu, întoarcerea fluidului efectuîndu-se printr-o conductă separată (fig. 6). Această ultimă soluție poate fi mult mai economică. Instalațiile de refrigerare trebuie să fie adaptate nu numai la funcționarea în regim normal, dar și la regimurile termice tranzitorii. În cazul criocablurilor rezistive răcirea poate fi efectuată cu refrigeratoare dimensionate pentru regim de funcționare permanent. Regimul electric al cablului nefiind stabilit, absența pierderilor prin efect Joule și a pierderilor dielectrice furnizează o rezervă de putere frigorifică suficientă pentru răcirea pînă la temperatura de regim, această perioadă putînd să ajungă pînă la 15

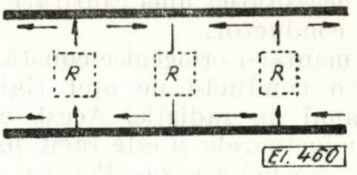


Fig. 5. Legătură realizată prin două criocabluri dispuse în paralel.

zile. Din contra, în cazul cablurilor supraconductoare, la care pierderile electrice sînt foarte scăzute, refrigeratoarele trebuie să fie dimensionate pentru regimul tranzitoriu (răcirea pînă la tempeartura de regim).

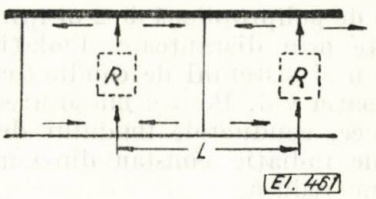


Fig. 6. Legătură realizată printr-un singur criocablu :
R – stație de refrigerare ; *L* – lungimea unui tronson de criocablu între două stații de refrigerare.

În cazurile în care este necesară o supradimensionare importantă, apare justificată prevederea unor mijloace exterioare pentru asigurarea acestei răciri, și anume folosirea de refrigeratoare mobile.

4. Economicitatea cablurilor criogenice

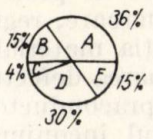
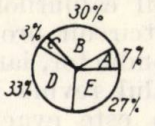
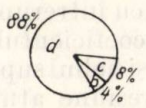
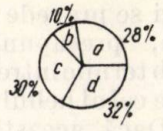
Diferitele metode de transport al energiei electrice nu se pot compara decît considerînd ansamblul investițiilor fixe, ale costurilor pierderilor și ale costurilor de exploatare. S-au efectuat pînă în prezent numeroase studii economice privind cablurile rezistive și supraconductoare. Rezultatele obținute arată o dispersie importantă, făcînd dificilă aprecierea interesului economic al acestor tipuri de cabluri. O comparație economică a cablurilor criogenice cu cabluri convenționale este foarte dificilă în stadiul actual al cunoștințelor în acest domeniu. Explicația rezidă în cunoașterea insuficientă a proprietăților fizice și a costului diverselor componente ale cablurilor criogenice precum și prin estimarea incertă a costurilor de fabricație, care face apel la tehnici noi, neindustrializate în prezent. Totuși, conform estimărilor actuale, apare clar că, costul transportului prin criocabluri supraconductoare este mai scăzut decît cel prin criocabluri rezistive.

Un studiu tehnic menționat în [16] și [7] a permis evaluarea costului cablurilor criogenice, ținînd sema de: fiabilitate, cost de fabricație, precum și de diferitele dificultăți de fabricare și exploatare a acestor materiale.

Rezultatele obținute prin optimizarea tehnico-economică a unor cabluri criogenice supraconductoare și rezistive care transportă o putere echivalentă de 3 000 MVA, sînt date în tabela 1.

Tabela 1

Caracteristicile criocablurilor de curent alternativ trifazat de 3000 MVA

Tipuri de criocabluri	Criocabluri rezistive	Criocabluri supraconductoare
Criocabluri suple cu presiune de fluid	Azot : 5 bar	Heliu : 10 bar
Puterea unui cablu trifazat	3 000 MVA	3 000 MVA
Tensiunea eficace între faze	450 kV	150 KV
Impedanța caracteristică	20 ohmi	23 ohmi
Caracteristici ale conductoarelor	*Aluminiu* — Secțiunea unui conductor de fază = 2 800 mm² — Densitatea de curent 1,36 A/mm²	*Niobiul depus pe cupru* Grosimea : 50 μ Cîmpul magnetic tangențial al conductorului de fază : $H_{ef} = 5 \cdot 10^4$ A/m
Temperatura fluidului în lungul criocablului	77°K — 87°K	4,4°K — 5°K
Distanța între stațiile de refrigerare	6 km	15 km
Diametrul exterior al unui cablu monofazat	20 cm	14 cm
Diametrul exterior al canalizării	60 cm	40 cm
Repartiția costurilor : *A* = pierderi (3,5 F/W) *B* = conductoare (aluminiu, niobiu, cupru) *C* = izolant electric *D* = manta criogenică *E* = refrigerare	 (a	 (c
Repartiția energiilor consumate : a = fenomene de disipare în conductoare (funcționarea criocablurilor pe baza diagramelor de sarcină) *b* = pierderi dielectrice *c* = pierderi de perete și de frecare (77°K) *d* = pierderi de perete și de frecare (4°K).	 (b	 (d

Din analiza datelor cuprinse în tabela de mai sus reiese avantajul economic al utilizării cablurilor criogenice în comparație cu cablurile rezistive de energie.

5. Perspective de utilizare a cablurilor criogenice în România

În ultimul timp au fost întreprinse și în cadrul ICPE studii și cercetări asupra unor materiale supraconductoare (niobiu, aluminiu ș.a.) în vederea utilizării lor într-o etapă următoare la proiectarea și execuția unor tipuri de cabluri criogenice. Studiile și cercetările, care sînt în curs, urmăresc să stabilească tipurile de materiale supraconductoare la care ne vom opri pentru a fi folosite la construcția unui tip de cablu criogenic de 110 kV ce urmează să fie asimilat în următorii ani. Avem în vedere în primul rînd realizarea unui cablu care să alimenteze marii consumatori de energie electrică cu pierderi Joule minime, iar în prima fază vom studia alimentarea și execuția unui cablu supraconductor pentru Combinatul de aluminiu — Slatina, direct de la hidrocentrala „Porțile de Fier".

În discuțiile cu forurile de specialitate vom definitiva această soluție și vom examina, de asemenea, și alte condiții de utilizare a cablurilor criogenice în România.

6. Concluzii

Caracteristicile electrice ale criocablurilor rezistive de curent alternativ sînt apropiate de cele ale cablurilor clasice, iar exploatarea lor

ridică pentru lungimi mari de cablu, probleme analoge de compensare a puterii reactive. Pierderile termice de perete ale acestor criocabluri sînt scăzute față de pierderile Joule, care constituie o parte importantă din costul lor total: aceste cabluri par a fi mai bine adaptate unui regim de funcționare cu sarcină variabilă, cînd lungimile lor sînt relativ reduse. Puterile transportate prin aceste cabluri pot depăși chiar 5 000 MVA.

Pentru cablurile supraconductoare de curent alternativ, valoarea pierderilor permanente(pierderi termice de perete, pierderi dielectrice și de frecare în bilanțul total al pierderilor 60% pentru un cablu de 3 000 MVA), permite să se prevadă utilizarea acestora pentru transportul unor energii foarte mari. Intensitățile mai mari și nivelele de tensiune mai scăzute decît la cablurile clasice (200 KV pentru un cablu de 5 000 MVA), atenuează sau chiar suprimă problema energiei reactive. Puterile de transport pot fi foarte mari în raport cu criocablurile rezistive.

Dimensionarea conductoarelor trebuie să fie adaptată efectelor curenților de scurtcircuit și instabilităților termice.

La cablurile rezistive, la un scurtcircuit, creșterea temperaturii conductoarelor rămîne suficient de scăzută pentru ca acestea să fie protejate prin dispozitive clasice de protecție. În cazul cablurilor supraconductoare, regimul de scurtcircuit provoacă tranziția materialului supraconductor, iar după eliminarea defectului, materialul revine la starea supraconductoare. Căldura este evacuată în heliul înconjurător și echilibrul termic este atins la cîteva secunde după eliminarea defectului. Protecția acestor cabluri se prevede a fi realizată cu întreruptoare clasice, presupunîndu-se că coeficientul de schimb termic între metalul cald și heliul supercritic este cel al heliului lichid la presiune atmosferică. Dacă această ultimă ipoteză este falsă, este necesară proiectarea unor dispozitive de protecție mai rapide.

Se apreciază că asimilarea în țară a unor tipuri de criocabluri rezistive și supraconductoare ar fi oportune pentru industria noastră electrotehnică în etapa actuală.

Bibliografie

[1] *Grigsby, R., Slaughter, R. J.* Măsurarea disipării la 50 Hz în benzile de niobiu supraconductoare. În: J.Phys. D. nr. 3, 1970, p. 898—905.

[2] *Rogers, E., Redmonds, D.E., Chan, G.D.* Dependența de temperatură a pierderilor în curent alternativ în niobiul supraconductor. În: Cryogenics, nr. 9, 1969, p. 431—437.

[3] *Swanson, M. L.* Recuperarea la temperatură joasă a aluminiului deformat. În: Can. J. Phys. nr. 42, 1964, p. 1890—1901.

[4] *Smith, R.V.* Transferul de căldură în helium. În: Cryogenics, nr. 9, 1969, p. 11—19.

[5] *Hawley, R.* ș.a. Proprietățile izolatoare ale vidului înalt. În: Proc. I.E.E., 112, nr. 6, 1965, p. 1237—1248.

[6] *Powell, A. H.* ș.a. Un aparat pentru cercetarea prestrăpungerii în izolația cu vacuum la temperaturi joase (124°K). În: Massachussets Institute of Technology, 1966, p. 269—277.

[7] *Looms, J. St.* ș.a. Izolația cu vacuum între electrozii de niobiu foarte reci. În: Br. J. Appl. Phys. nr. 1, 1968, p. 377—379.

[8] *Meats, R.J.* Străpungerea electrică a heliului gazos rece. În: I.E.E. Conf. Publ., 70 p, 48—52.

[9] *Thoris, J.* ș.a. Străpungerea dielectrică a heliului gazos în spații mari. În: Cryogenics, nr. 10, 1970, p. 147—149.

[10] *Fallou, D.* ș.a. Străpungerea dielectrică a heliului gazos la temperaturi joase. În: Cryogenics, nr. 10, 1970, p. 142—146.

[11] *Taylor, M. T.* Conductoare compuse pentru un cablu supraconductor de curent alternativ. În: Proc. of the conference on low temperatures and electric power, 1969, p. 119—125.

[12] x x x Transportul energiei electrice prin cabluri criogenice. În: Journal de l'Equipement Electrique et Electronique, nr. 319, ian. p. 56—63.

[13] *Rogers, E.C.* Proiectarea unui cablu supraconductor de curent alternativ. În: Proceedings of the I.E.E., Anglia, vol. 118, nr. 10, oct. 1971, p. 1493—1500.

[14] *Swift, D.A.* Criterii de proiectare a dielectricilor solizi pentru cablurile supraconductoare de curent alternativ cu izolație solidă. În: Proceedings of the I.E.E., Anglia, vol. **118**, nr. 9, sep. 1971, p. 1237—1241.

Intrat în redacție la 8.I.1973

Transmisia căldurii prin piciorul arcului electric în camerele de stingere ale aparatelor de comutație de joasă tensiune

VASILE TRUȘCĂ* — București

CZ 621.316.53.027.2:621.3.014.31:621.3.017.7

Cu toate că tehnica în domeniul construcției de aparate de comutație a ajuns la un anumit stadiu, îndeplinind mulțumitor cerințele practice, trebuie observat că aceasta a fost obținută mai mult pe cale experimetală decît prin calcule fizicoteoretice. Rezultă că nu este posibil să se precalculeze solicitarea unui întreruptor de putere pentru o rețea, dacă în prealabil a fost calculat pentru altă rețea. În aceste cazuri se procedează la o încercare suplimentară în condițiile speciale ale noii situații. Acest procedeu nu este numai incomod ci, în același timp, și foarte costisitor. De aceea se impune găsirea unui model matematic, care să descrie

* Dr. ing. *V. Trușcă* este șef de lucrări la Catedra de măsuri și aparate electrice din Institutul politehnic — București.

cît mai exact arcul electric din aparatele de comutaţie şi care să permită precalcularea comportării arcului în interdependenţă cu circuitul electric din care aceasta face parte. Un astfel de model ar trebui să prezinte, cantitativ, cît mai bine proprietăţile arcului electric. Acestea însă depind în mod esenţial de tipul constructiv, de condiţiile locale din camera de stingere, ca şi de parametrii reţelei şi ai sarcinii, fără de care nu se poate concepe un model matematic corect.

Din punct de vedere practic este extrem de dificil de găsit un asemenea model. Dificultăţile majore în stabilirea modelului matematic, constau mai ales în precizarea funcţiei puterii disipate, p, din coloana arcului electric, adică precizarea funcţiei de extracţie a căldurii din arcul electric

Autorul a elaborat trei variante de model matematic pentru arcul electric, care arde în camerele de stingere ale aparatelor de comutaţie de joasă tensiune, construite pe principiul efectului de electrod [1]. În lucrarea de faţă se prezintă unele rezultate obţinute de autor, cu privire la transmisia clădirii la piciorul arcului în aparatele de comutaţie de joasă tensiune.

Premise

În cele ce urmează se vor prezenta aspectele fizice şi teoretice care au fost luate în consideraţie şi anume : durata de ardere a arcului electric în camera de stingere cu plăcuţe din material feromagnetic (efectul de electrod), a contactoarelor de joasă tensiune, respectiv a întreruptoarelor, este aproximativ de 10 ms (o semiperioadă), în care timp coloana arcului se deplasează de pe contacte pînă în camera de stingere, aşa cum se vede în figurile 1 a, b, c, în care, cu *1* s-a notat puntea mobilă a contacte-

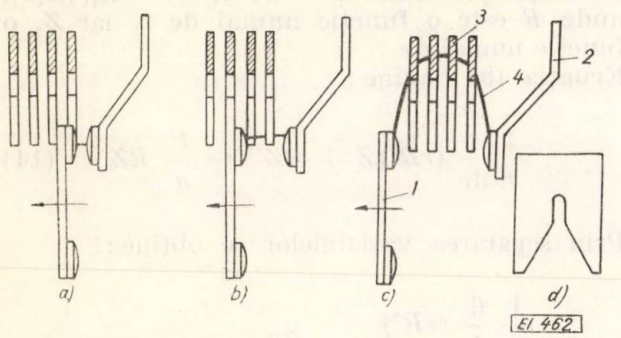


Fig. 1. — Apariţia arcului electric în camera de stingere.

lor, cu *2*, subansamblul contact fix, cu *3* plăcuţe de stingere şi cu *4*, coloana arcului electric. În figura 1 d, s-a reprezentat schiţa unei plăcuţe de stingere. Pentru curenţii normali întrerupţi în contactoare, (100—200 A) diametrul arcului este de 1÷2 mm [10].

Deoarece durata de staţionare a piciorului arcului pe o plăcuţă de stingere este foarte scurtă, aproximativ 1 ms se poate accepta modelul fizic, cu referire la transmisia căldurii din figura 2.

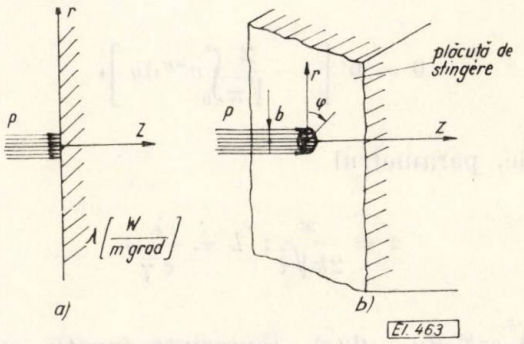


Fig. 2. — Modelul fizic al piciorului arcului electric pe plăcuţa de stingere.

Problema transmisiei căldurii prin pereţi plani, care se întind teoretic la infinit, a fost tratată şi rezolvată parţial în literatură [6],[2].

Pornind de la observaţia că diametrul piciorului arcului este mic, în raport cu dimensiunile plăcuţei de stingere şi că timpul de staţionare a piciorului este foarte scurt, în aceste condiţii, se concluzionează că modelul fizic prezentat în figura 2, poate fi acceptat cu oarecare aproximaţie. Avînd aceste premise, bilanţul energetic din arc se poate scrie astfel :

$$dQ = (ui - p)dt \qquad (1)$$

unde :

u —reprezintă tensiunea arcului electric;
i —curentul din arc;
p —puterea disipată de arcul electric;
dQ —variaţia elementară a conţinutului de căldură.

Asupra funcţiei de extragere a căldurii p, s-au făcut precizări mai detaliate în lucrările [1], [10].

Consideraţii teoretice

Din punct de vedere teoretic problema revine la rezolvarea ecuaţiei difuziei căldurii :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a\Delta\theta, \qquad (2)$$

unde : $a = \dfrac{\lambda}{c\gamma}$ reprezintă difuzivitatea termică, determinîndu-se astfel extragerea de căldură prin conducţie, prin piciorul arcului. Problema a fost rezolvată [2], în cazul particular al transmisiei căldurii prin piciorul arcului, acesta aflîndu-se pe un contact masiv din cupru al unui aparat de comutaţie. În acest caz

a fost avantajos de a se considera laplasianul, în coordonate carteziene şi a se reţine din acesta numai coordonata, în direcţia axei x, adică direcţia de transmisie a căldurii în lungul contactului. Soluţia obţinută în acest caz este de forma :

$$\theta = \theta^* \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y} \, dy \right],$$

unde, parametrul

$$z = \frac{x}{2k\sqrt{t}}; \quad k = \frac{\lambda}{c\gamma},$$

iar

$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-v^2} \cdot dy = \Phi(z)$, reprezintă funcţia erorilor, care se găseşte tabelată [7]. În acest caz θ^* reprezintă temperatura de referinţă.

În ceea ce priveşte cazul existenţei arcului electric în camera de stingere, adică între plăcuţele feromagnetice deionizatoare, trebuie luat în consideraţie modelul fizic din figura 2 în care arcul electric dintre plăcuţe este figurat sub formă cilindrică. Deci se pune problema determinării extragerii de căldură prin conducţie, prin piciorul arcului electric. Aceasta impune rezolvarea ecuaţiei (2) cu considerarea laplasianului în coordonate cilindrice, aşa cum se vede în figura 2. Deci :

$$\theta = \theta(r, z, t),$$

deoarece din condiţii de simetrie, temperatura θ nu depinde de coordonata φ. În ceea ce priveşte condiţiile de unicitate acestea sînt :
condiţiile iniţiale

$$\theta = \theta(r, z, o), \tag{4}$$

Condiţiile limită

$$z = 0$$

$q = -\lambda \left. \frac{d\theta}{dz} \right|_{z=0}$ — fluxul pe unitatea de suprafaţă,

$$q = \frac{P}{\pi b^2}; \text{ pentru } r < b$$

$$q = 0; \text{ pentru } r > b \tag{5}$$

$$\left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{z=0} = \begin{cases} 0 \text{ pentru } r > b \\ -\dfrac{P}{\pi \lambda b^2} \text{ pentru } r < b \end{cases},$$

din relaţia lui Fourier, unde b este raza coloanei arcului electric. În aceste condiţii ecuaţia devine :

$$\Delta\theta = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial t}. \tag{6}$$

Folosind pentru rezolvare transformata Laplace, ecuaţia (6) capătă forma :

$$\Theta[r,z,p] = \mathfrak{L}[\theta(r,z,t)]. \tag{7}$$

Explicitînd expresia laplasianului în coordonate cilindrice :

$$\Delta\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial\theta}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2\theta}{\partial\varphi^2} + \frac{\partial^2\theta}{\partial z^2},$$

se obţine ecuaţia :

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = a \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial\theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} \right], \tag{8}$$

sau prin aplicarea transformatei Laplace :

$$\Delta\Theta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial\theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2\Theta}{\partial z^2} = \frac{p}{a}\Theta, \tag{9}$$

cu condiţiile pe frontieră :

$$\left. \frac{\partial\Theta}{\partial t} \right|_{z=0} = \begin{cases} -\dfrac{P}{\pi b^2 \lambda} \cdot \dfrac{1}{p}; \text{ pentru } r < b \\ 0 \quad ; \text{ pentru } r > b \end{cases}, \tag{10}$$

unde, s-a considerat puterea ca semnal treaptă, adică injecţie de putere.

Rezolvarea s-a făcut cu ajutorul metodei separării variabilelor, în care scop s-a căutat o soluţie particulară, $\Theta(r, z, p) = R(r)Z(z)$, unde R este o funcţie numai de r, iar Z, o funcţie numai de z.
Ecuaţia (9) devine :

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rR')Z + RZ'' = \frac{P}{a} RZ. \tag{11}$$

Prin separarea variabilelor se obţine :

$$\frac{\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rR')}{R} = -\frac{Z''}{Z} + \frac{p}{a} = -\nu^2, \tag{12}$$

unde ν^2 este o constantă arbitrară, luată convenabil. Deci, se ajunge astfel la o identitate de funcţii :

$$f(r) = f(z). \tag{13}$$

În acest caz se poate considera sistemul:

$$\frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}(rR') + \nu^2 R = 0, \tag{14}$$

$$Z'' = \left(\frac{p}{a} + \nu^2\right) Z. \tag{15}$$

Scriem mai întîi soluţia ecuaţiei (15), care este mai simplă:

$$Z = \begin{cases} \mathrm{e}^{z\sqrt{p/a + \nu^2}} \\ e^{-z\sqrt{p/a + \nu^2}}, \end{cases} \tag{16}$$

din care rămîne numai soluţia:

$$Z = e^{-z\sqrt{p/a + \nu^2}},$$

soluţia $Z = e^{-z\sqrt{p/a + \nu^2}}$, nu este convenabilă deoarece conduce la valori ∞ pentru z, tinzînd către ∞.

Pentru obţinerea soluţiei ecuaţiei (14), observăm că ecuaţia

$$R'' + \frac{1}{r} R' + \nu^2 R = 0, \tag{17}$$

este de tip Bessel.

Prin identificare cu ecuaţia generală de tip Bessel:

$$y'' + \frac{1}{x} y' - \left(\lambda^2 - \frac{\nu^2}{r^2}\right) y = 0,$$

se constată că ecuaţia (17) este de speţa întîi şi de ordinul zero.

Soluţia ecuaţiei este:

$$R = \begin{cases} J_0(\nu r) \\ Y_0(\nu r), \end{cases} \tag{18}$$

dintre care: $Y_0(\nu r)$, nu este convenabilă, deoarece tinde să ia valori ∞ pentru valori ale lui r, care tind spre zero.

Deci, soluţia generală va fi de forma:

$$\Theta = \int_\nu A J_0(\nu r)\, e^{-z\sqrt{p/a + \nu^2}} \cdot \mathrm{d}\nu. \tag{19}$$

După determinarea constantelor (prin identificare) şi folosind diverse transformări [9], se obţine ecuaţia generală:

$$\Theta = \frac{P}{\pi b \lambda} \cdot \frac{1}{p} \int_{u=0}^{\infty} \frac{J_1(u) J_0\left(u \frac{r}{b}\right) \mathrm{e}^{-\frac{z}{b}\sqrt{\frac{pb^2}{a} + u^2}}}{\sqrt{\frac{pb^2}{a} + u^2}}\, du, \tag{20}$$

unde: $u = \nu b$,

sau:

$$\Theta\left(\frac{r}{a}, \frac{z}{a}, p\right) = \tag{21}$$

$$= \frac{P}{\pi b \lambda} \int_{u=0}^{\infty} J_1(u) J_0\left(u \frac{r}{b}\right) \left[\frac{\mathrm{e}^{-\frac{z}{b}\sqrt{p\frac{b^2}{a} + u^2}}}{p\sqrt{p\frac{b^2}{a} + u^2}}\right] \mathrm{d}u.$$

Originalul funcţiei este:

$$\theta\left(\frac{r}{a}, \frac{z}{a}, t\right) = \tag{22}$$

$$= \frac{P}{\pi b \lambda} \int_0^{\infty} J_1(u) J_0\left(u \frac{r}{b}\right) \mathfrak{L}^{-1} \left[\frac{\mathrm{e}^{-\frac{z}{b}\sqrt{p\frac{b^2}{a} + u^2}}}{p\sqrt{\frac{b^2}{a} + u^2}}\right] \mathrm{d}u.$$

Dacă facem următoarele notaţii:

$$\frac{r}{b} = \rho; \quad \frac{z}{b} = \zeta; \quad \theta^* = \frac{P}{\pi b \lambda},$$

soluţia (22) poate să fie scrisă adimensional:

$$\frac{\theta(\rho, \zeta, t)}{\theta^*} = \tag{23}$$

$$= \int_0^{\infty} J_1(u)\, J_0(u\rho)\, \mathfrak{L}^{-1} \left[\frac{\mathrm{e}^{-\xi\sqrt{u^2 + p\frac{b^2}{a}}}}{p\sqrt{u^2 + pb^2/a}}\right] du,$$

unde:

$\theta^* = \dfrac{P}{\pi b \lambda}$ reprezintă o temperatură de referinţă, care nu este alta decît temperatura la piciorul arcului electric.

Soluţia generală definitivă a ecuaţiei (23) este foarte greu de obţinut, deoarece originalul nu se găseşte tabelat.

Relaţia poate fi însă folosită, particularizînd soluţia odată pe suprafaţa plăcuţei adică pentru $z = 0$ şi apoi după direcţia z, adică în direcţia pătrunderii perpendiculare pe plăcuţă a fluxului de căldură.

De exemplu, temperatura pe suprafaţa plăcuţei, $(z = 0)$ este:

$$\frac{\theta_s}{\theta^*} = \int_0^{\infty} J_1(u)\, J_0(\rho u)\, \mathfrak{L}^{-1} \left[\frac{1}{p\sqrt{u^2 + p\frac{b^2}{a}}}\right] \mathrm{d}u, \tag{24}$$

Din tabele [8], se obţine originalul:

$$\mathfrak{L}^{-1} \left[\frac{1}{p\sqrt{u^2 + p\frac{b^2}{a}}}\right] = \frac{1}{u}\, Erf\left(u\sqrt{\frac{at}{b^2}}\right).$$

Dacă se notează : $\frac{at}{b^2} = \tau \Rightarrow$ timpul relativ, se obține soluția :

$$\frac{\theta_s}{\theta^*} = \frac{\theta(\rho,0,\tau)}{\theta^*} = \int_0^\infty J_1(u) J_0(u\rho) Erf(u\sqrt{\tau}) \frac{du}{u}. \quad (25)$$

Prin mai multe transformări se ajunge la o soluție de forma [9] :

$$\frac{\theta_s}{\theta^*} = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}\left[I_0 - \frac{\tau}{3} I_2 + \frac{\tau^2}{10} I_4 + \cdots\right]. \quad (26)$$

unde I_0, I_2, I_4, sînt niște integrale, care conțin funcțiile J_0, J_1, care sînt foarte greu de calculat, putîndu-se avea, eventual, în vedere o rezolvare pe cale grafică.

Interesantă este însă soluția după direcția axei z, adică direcția de pătrundere perpendicular pe plăcuța de stingere ($\rho = 0$).

În acest caz soluția este :

$$\frac{\theta_{ax}}{\theta^*} = \int_0^\infty J_1(u)\, \mathfrak{L}^{-1}\left[\frac{e^{-\xi\sqrt{u^2 + p\,b^2/a}}}{p\sqrt{u^2 + p\,b^2/a}}\right] du, \quad (27)$$

pentru timpi mici, adică, valori ale lui p, mari ($\tau \geqslant 1$)

$$\mathfrak{L}^{-1}\left[\frac{e^{-\xi\sqrt{u^2 + p\,b^2/a}}}{p\sqrt{u^2 + p\,b^2/a}}\right] \approx \mathfrak{L}^{-1}\left[\frac{e^{-\xi\sqrt{\frac{b^2}{a}}\sqrt{p}}}{p\sqrt{p}}\right] \approx$$

$$\approx 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}\left[e^{-\left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}}\right)} - \sqrt{\pi}\left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}}\right) Erfc\left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}}\right)\right],$$

din [8]

Deci :

$$\frac{\theta_{ax}}{\theta^*} = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}} f\left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}}\right) \int_0^\infty J_1(u)\, du, \quad (28)$$

Dacă se notează $x = \frac{\xi}{2\sqrt{\tau}}$, atunci ;

$$f(x) = e^{-x^2} - \sqrt{\pi}\, x\, Erfc(x)$$

unde :

$$Erfc(x) = \frac{\sqrt{\pi}}{2}[1 - \Phi(x)],$$

iar :

$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2}\, dt$, fiind funcția erorilor [7].

Pentru $\int_{u=0}^\infty J_1(u) du = 1$ [9],

se obține soluția finală :

$$\frac{\theta_{ax}}{\theta^*} \approx 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}} f\left(\frac{\xi}{2\sqrt{\tau}}\right) = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}} f(x). \quad (29)$$

Rezultate

Pentru a se verifica dacă ipotezele emise în capitolul 2 sînt valabile, s-au făcute unele calcule pentru un caz real. Ideal ar fi ca acest calcul să se facă folosindu-se relațiile (22) respectiv (23), pentru a se obține astfel, cîmpul real de temperatură în plăcuța de stingere. Deoarece acest lucru este foarte greu, s-au efectuat calcule efective, folosindu-se relațiile (3) și (29). În lucrarea [6], însă, se arată că forma reală a cîmpului de temperatură nu poate fi alta decît cea reprezentată în figura 3.

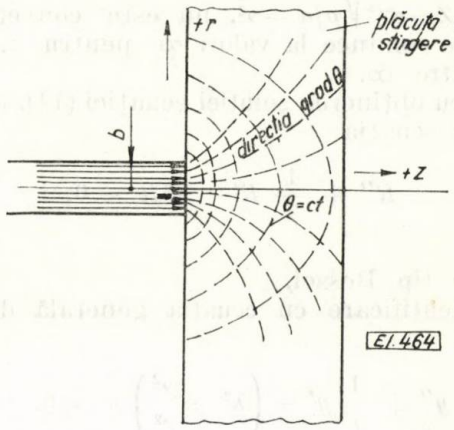


Fig. 3 — Cîmpul de temperatură în interiorul plăcuței de stingere.

În cele ce urmează se prezintă rezultatele obținute pentru un contactor încercat și anume pentru un contactor de tipul AC_3—40A, de construcție indigenă. Încercările experimentale s-au efectuat pentru curent $\hat{I} = 118$ A, $\hat{U} = 480$ V, $\cos\varphi = 0{,}3$, $L = 0{,}0122$ H, $R = 1{,}07\ \Omega$, $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L}{R} = 3{,}58 = 74{,}3°$, $\psi = \varphi = 1{,}29$ radieni. Rezultatele detaliate ale acestor încercări au fost trecute în lucrările [4], [5]. La acest tip de contactor există 4 plăcuțe de stingere pe loc de rupere, așa cum se vede în figura 1. Plăcuțele sînt din material feromagnetic, grosimea unei plăcuțe fiind de aproximativ 1,8 mm.

Se aplică relația (3), considerată acoperitoare, cu parametrii k și z, calculați pentru cazul real amintit și cu temperatura de referință θ^*, considerată de 1 500°C, adică o temperatură aproximativă egală cu temperatura de topire a materialului feromagnetic.

În consecință, folosirea acestei relații presupune adoptarea unei temperaturi de referință θ^*, deoarece în ipotezele de calcul s-a avut în

vedere injecţia de căldură, adică, temperatura θ^*, considerată ca semnal treaptă.

În figura 4 sînt reprezentate curbele obţinute prin calcul, pentru valori ale argumentului z, din funcţia erorilor cuprinse între 0 şi 3. Funcţia erorilor se găseşte calculată în tabelele Janke — Emde — Lösch [7].

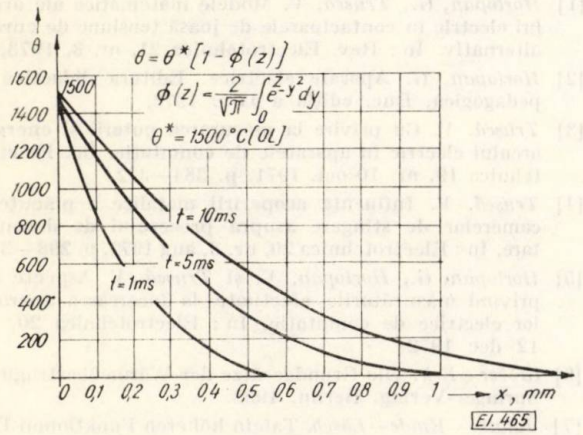


Fig. 4 — Repartiţia temperaturii în interiorul plăcuţei de stingere; $\theta = f(x,t)$, calculată cu relaţia (3).

În continuare s-au efectuat calcule şi cu ajutorul relaţiei (29), pentru acelaşi caz practic, precizîndu-se însă, că în premisele de calcul pentru obţinerea relaţiei (29) s-a avut în vedere injecţia de putere, rezultînd astfel, pentru temperatura de referinţă $\theta^* = \dfrac{P}{\pi\, b\lambda}$, unde, P reprezintă puterea injectată prin piciorul arcului electric, b — raza coloanei arcului, iar λ — coeficientul de transmisie al materialului plăcuţei de stingere.

Calculele s-au făcut pentru un arc electric cu raza de 1 mm, plăcuţele de stingere din material feromagnetic avînd :

$$\lambda_{Fe} = 60\,\frac{W}{\text{m grad}},\quad a_{Fe} = \frac{\lambda}{c\gamma} =$$

$$= 16{,}5 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \text{ şi } \gamma c = 3{,}6 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{J}}{\text{m}^3\,^\circ\text{C}}.$$

Pentru temperatura de referinţă $\theta^* = \dfrac{P}{\pi b \lambda}$, care de fapt reprezintă temperatura la piciorul arcului, a rezultat valoarea de 5300°C, pentru o putere injectată medie de 1 000 W, determinată experimental. Modul detaliat de determinare a puterii injectate s-a prezentat în alte lucrări ale autorului, [3, 4, 5].

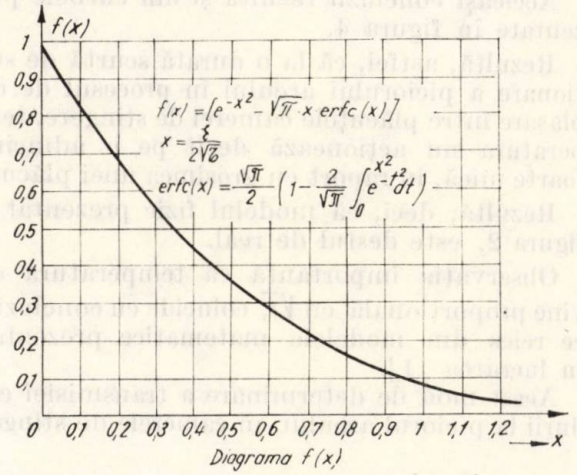
Pentru diverse valori ale lui x, funcţia $f(x)$ ia valorile cuprinse în diagrama din figura 5 a, iar cîmpul de temperatură, calculat cu relaţia (29), este cel rezultat în figura 5 b.

Valorile parametrului x şi cele ale funcţiei $f(x)$ sînt prezentate în tabela 1.

Tabela 1

$x = \dfrac{\xi}{\sqrt{2\tau}}$	0	0,141	0,282	0,56	0,84	1,12
$f(x) = f\left(\dfrac{\xi}{2\sqrt{\tau}}\right)$	1	0,77	0,58	0,31	0,14	0,05

Este interesant de observat că pentru valorile lui x, care tind către zero, funcţia $f(x)$ tinde către 1, iar temperatura θ rezultă fiind proporţională cu $\sqrt{t}$.



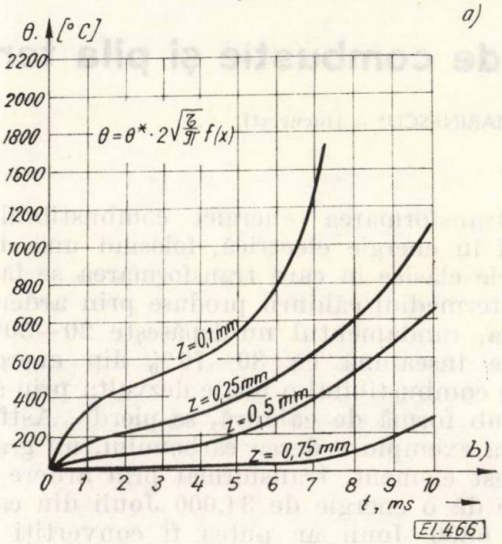


Fig. 5 — Repartiţia temperaturii în interiorul plăcuţei de stingere; $\theta = f(v,t)$, calculată cu relaţia (29).

Concluzii

Din cele prezentate reiese că nu este posibilă găsirea unei funcţii care să redea cel mai bine modul de extragere a căldurii din coloana arcului electric, în procesul de întrerupere a circuitului, fără a se porni de la configuraţia con-

structivă, deci, de la condiţiile locale din camera de stingere.

Aşa cum se vede în figura 5, premisele emise în capitolul 2 se dovedesc valabile. De exemplu, după 1 ms de la apariţia arcului electric, la o adîncime de pătrundere în plăcuţă de 0,1 mm, temperatura este mai mică de 400 °C, iar la o adîncime de 0,75 mm, temperatura este, practic, neglijabilă. După 5 ms de staţionare a piciorului arcului pe plăcuţa de stingere, la o adîncime de pătrundere în plăcuţă de 0,1 mm, temperatura este mai mică de 800 °C, iar la o adîncime de 0,75 mm, temperatura este de asemenea neglijabilă.

Aceleaşi concluzii rezultă şi din curbele prezentate în figura 4.

Rezultă, astfel, că la o durată scurtă de staţionare a piciorului arcului în procesul de deplasare între plăcuţele camerei de stingere, temperatura nu acţionează decît pe o adîncime foarte mică, în raport cu grosimea unei plăcuţe.

Rezultă, deci, că modelul fizic prezentat în figura 2, este destul de real.

Observaţia importantă că temperatura devine proporţională cu $\sqrt{t}$, coincide cu concluziile ce reies din modelele matematice prezentate în lucrarea [1].

Acest mod de determinare a transmisiei căldurii la piciorul arcului, în camerele de stingere ale aparatelor de comutaţie de joasă tensiune, este corect, permiţînd observaţii obiective privind comportarea nemijlocită a arcului electric în procesul de stingere.

Bibliografie

[1] *Hortopan, G., Truşcă, V.* Modele matematice ale arcului electric în contactoarele de joasă tensiune de curent alternativ. În: Rev. Electrotehnica 21, nr. 3, 1973, p.

[2] *Hortopan, G.* Aparate electrice. Editura didactică şi pedagogică, Buc. ediţia a II-a. 1972.

[3] *Truşcă, V.* Cu privire la măsurarea puterii şi energiei arcului electric în aparatele de comutaţie. În: Electrotehnica 19, nr. 10 oct. 1971, p. 384–392.

[4] *Truşcă, V.* Influenţa acoperirii metalice a plăcuţelor camerelor de stingere asupra procesului de deconectare. În: Electrotehnica 20, nr. 8, aug 1972, p. 298–305.

[5] *Hortopan, G., Hortopan. V.* şi *Truşcă. V.* Aspecte noi privind măsurătorile efectuate la încercarea aparatelor electrice de comutaţie. În: Electrotehnica 20, nr. 12 dec 1972.

[6] *Gröber—Erk.* Die Grundgesätze der Wärmeübertragung. Springer-Verlag, Berlin, 1933.

[7] *Jahnke—Emde—Lösch.* Tafeln höheren Funktionen B.G Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1966.

[8] *Bateman, H., Erdely, A.* Tables of Integral Transformes, M. C. Graw—Hill Book Co., 1954.

[9] *Bateman, H,* şi *Erdely, A.* Higher Transcedental Functions M. C. Graw-Hill Book Co., 1953

[10] *Truşcă, V.* Asupra proceselor de stingere a arcului electric în aparatele de comutaţie de joasă tensiune. Teză de doctorat, I.P.B. Bucureşti, 1973.

Intrat în redacţie la 20.IV.1973

Pila de combustie şi pila termo-electrică

MATEI MARINESCU* — Bucureşti

CZ 621.351:536.46.001.2

În transformarea energiei combustibililor primari în energie electrică, folosind una din metodele clasice în care transformarea se face prin intermediul căldurii produse prin arderea acestora, randamentul nu depăşeşte 20—30%, ceea ce înseamnă că 80—70% din energia pe care combustibilul o poate dezvolta prin ardere, sub formă de căldură, se pierde. Astfel, luînd ca exemplu arderea carbonului, un gram din acest element, transformat prin ardere în CO_2 ne dă o energie de 34.000 Jouli din care numai 6800 Jouli ar putea fi convertiţi în energie electrică, prin aceste metode.

Este de observat că unul din elementele care reduc randamentul într-o asemenea transformare, este faptul că ea nu poate avea loc decît conform principiului al 2-lea al termodinamicii care reclamă necesitatea existenţei a două surse de căldură, ceea ce se traduce prin expresia randamentului, stabilită pentru prima oară de Carnot, în celebra sa lucrare: „Reflexions sur la puissance motrice du feu", această expresie este dată de relaţia:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

în care T_1 este temperatura absolută a sursei calde, iar T_2 — temperatura absolută a sursei reci.

Dacă $T_1 = T_2$, conform relaţiei [1], $\eta = 0$, Pentru ca să avem $\eta = 1$, trebuie ca $T_2 = 0$, adică sursa rece să fie la temperatura de *zero absolut*; fizic aceasta înseamnă că la această temperatură s-a extras corpului adus la temperatura T_1 întreaga energie cinetică a atomilor sau moleculelor, în mişcare haotică, care-l constituiesc. În practică, nu dispunem de asemenea surse reci şi deci $\eta < 1$. Trebuie precizat că relaţia [1] ne dă radamentul maxim al unei maşini ideale fără pierderi mecanice (fre-

* Prof. *M. Marinescu* este cercetător ştiinţific principal I la I.C.P.E.T.

cări, etc.) şi fără pierderi de căldură prin radiaţie, convecţie, conductibilitate, transformarea făcîndu-se după ciclul lui Carnot. Este evident că metodele clasice de transformare a energiei combustibililor primari în energie electrică, duc la o mare risipă de energie şi totodată la ceea ce numim astăzi, un dezechilibru în ecologia mediului, prin produsele arderii.

Dacă însă, în loc de a arde combustibilul direct, spre a folosi astfel căldura de reacţie, la temperatură înaltă, în motoare termice şi mai departe în generatoare electrice, realizăm condiţiile unei arderi electrochimice efectuată la temperatură joasă, ardere prin care căldura de reacţie se transformă direct în energie electrică, cu alte cuvinte dacă realizăm, cu aceleaşi elemente (carburant şi comburant), o pilă electrică, atunci este posibil ca întreaga căldură de reacţie să se transforme în energie electrică, realizînd randamente care practic pot fi de ordinul 70—90%.

Spre exemplu dacă în loc să ardem un echivalent electrochimic de H_2, în oxigen, transformîndu-l în H_2O, ardere însoţită de o degajare de căldură echivalentă cu 1,26 Jouli, formăm o pilă din aceste elemente (pila Grove), prin transformarea aceluiaşi echivalent de H_2 în H_2O la presiunea atmosferică şi la temperatura de 20°C, obţinem o energie electrică de 1,11 Jouli, şi deci un randament de 88%. Diferenţa de 0,15 Jouli constituie energia care se pierde în căldura cedată mediului, la temperatura de 20°C. Singura condiţie impusă este ca transformarea să fie reversibilă ceea ce implică ca ea să fie realizată sub un curent foarte mic.

În general, transformarea directă a energiei chimice în energie electrică, în pilele clasice şi mai recent în pilele de combustie, se face cu randamente ridicate şi lipsite de produse poluante. Să examinăm mai îndeaproape în ce constă o pilă de combustie şi ce o diferenţiază de o pilă clasică. Am menţionat mai sus, pila cu H_2 şi O_2, pila Grove. Această pilă realizează, încă din anul 1833, ideea de bază a pilelor de combustie moderne. Într-o astfel de pilă, elementele care reacţionează se introduc din afară şi se reînnoiesc pe măsură ce se consumă atunci cînd pila debitează. Electrozii rămîn nealteraţi, neluînd parte la reacţie, pe care o catalizează însă, mărindu-i viteza; în timp ce într-o pilă electrică clasică, elementele care reacţionează sînt însăşi electrozii care, pe măsură ce pila debitează curent, se consumă. Pila se epuizează atunci cînd cantitatea de electricitate debitată corespunde, conform uneia dintre legile lui Faraday, cantităţii de materie care constituie electrozii şi care participă la reacţie.

În cele ce urmează vom da cîteva exemple de pile de combustie arătînd performanţele la care s-a ajuns, punînd accentul pe ideile care călăuzesc cercetările actuale.

După cum am spus, un randament ridicat al transformării directe a energiei chimice în energie electrică se obţine în cazul unei transformări reversibile, care implică o densitate de curent foarte mică şi deci obţinerea unei cantităţi de electricitate dată, într-un timp foarte lung. În practică, ne interesează însă a obţine o aceeaşi cantitate de electricitate $Q = It$, într-un timp scurt, deci cu un curent important. Pentru a păstra aceeaşi densitate mică de curent şi deci a realiza un randament ridicat, va trebui să mărim în consecinţă suprafaţa activă a electrozilor, ceea ce se obţine prin folosirea electrozilor poroşi şi care să aibă în acelaşi timp o acţiune catalitică asupra reacţiei mărindu-i viteza. Asemenea probleme nu se pun în cazul pilelor clasice.

Să urmărim modificările aduse primei pile de combustie realizată de Grove şi care au condus la realizarea pilelor de combustie folosite în *misiunile APOLLO*. În figura 1, am reprezentat schematic pila Grove. Fără a intra în detaliile reacţiilor chimice care au loc la electrozi şi asupra cărora există încă controverse (reacţii a căror descriere iese dealtfel din cadrul prezentei lucrări) mă voi mărgini a preciza că densitatea de curent la suprafaţa electrozilor trebuie să fie astfel încît consumul de oxigen la catod şi hidrogen la anod, ambele gaze fiind dizolvate în electrolit, să nu depăşească debitul corespunzător pătrunderii acestor gaze în electrolit prin suprafaţa de separaţie gaz-electrolit. În caz contrar pila se polarizează şi f.e.m. scade şi deci şi randamentul. Desigur că cu cît presiunea gazelor deasupra electrolitului va fi mai mare, cu atît debitul de pătrundere va fi mai mare şi deci densitatea de curent, fără polarizare mai mare.

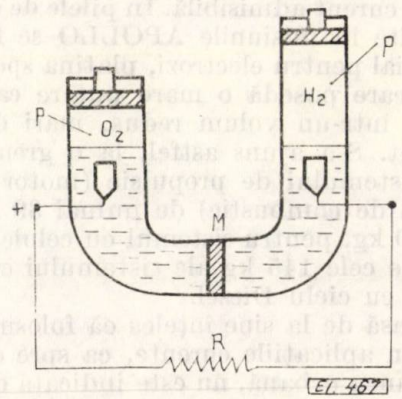


Fig. 1

O altă metodă de a mări curentul, fără ca densitatea de curent să depăşească limita vitezei de pătrundere, fără polarizare, a gazelor în electrolit, constă în a mări suprafaţa activă de contact între electrozi, electrolit şi gaz. Aceasta se obţine folosind electrozi poroşi a căror func-

ţie este multiplă şi care realizează contactul trifazic gaz-electrolit-metan.

În figura 2, am reprezentat schematic la scară mult mărită diferite situaţii relative la contactul trifazic. După cum reiese din examinarea acestor figuri, există două situaţii extreme şi anume atunci cînd electrolitul pătrunde în spaţiul destinat gazelor, sau atunci cînd gazele pătrund în electrolit şi avem barbotaj. Ambele situaţii trebuie evitate deoarece conduc

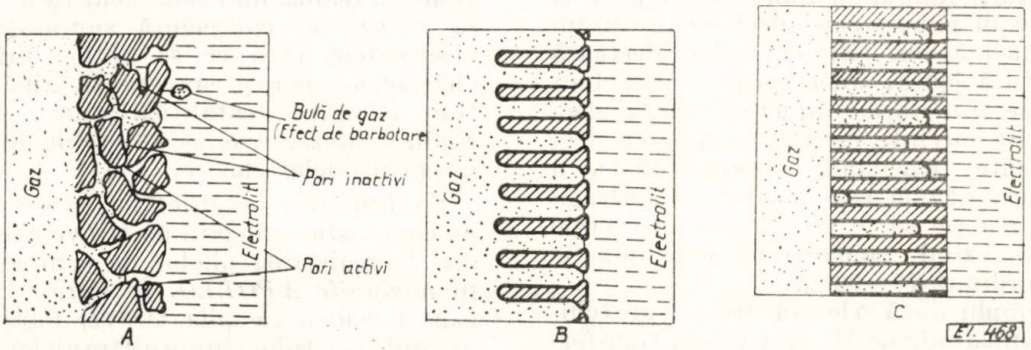


Fig. 2

la risipă de reactanţi din care cauză suprafaţa dinspre gaze a electrozilor se acoperă cu o pătură subţire izolantă de substanţă hidrofobă, ca spre exemplu de teflon, permeabilă pentru gaze şi impermeabilă pentru electrolit. Pierderea gazelor prin barbotaj se evită prin reglajul presiunii acestor gaze. După cum se vede, realizarea electrozilor este o problemă de tehnologie în care intervine, pe lîngă problema structurii şi aceea a naturii materialului din care sînt confecţionaţi aceşti electrozi şi care trebuie să aibă proprietăţi catalitice pentru sporirea vitezei de reacţie şi deci şi a densităţii de curent admisibilă. În pilele de combustie folosite în misiunile APOLLO se foloseşte ca material pentru electrozi, platina spongioasă neagră, care posedă o mare putere catalitică, realizînd într-un volum redus, mari densităţi de curent. S-a ajuns astfel, la o greutate totală a sistemului de propulsie (motor electric plus pilă de combustie) de numai 39 kg, faţă de 96,450 kg, pentru sistemul cu celulele solare şi faţă de cele 145 kg ale sistemului cu motor cu gaze, cu ciclu Diesel.

Este însă de la sine înţeles că folosirea acestor pile în aplicaţiile curente, ca spre exemplu la tracţiunea urbană, nu este indicată dat fiind că folosirea electrozilor de platină este prohibitivă din punct de vedere economic. Cercetările actuale sînt îndreptate spre găsirea unui înlocuitor al Pt accesibil din p.d.v. economic, dar care să aibă o putere catalitică comparabilă cu acea a Pt.

Rezultatele obţinute, atît pe plan mondial cît şi în cadrul cercetărilor efectuate la noi în ţară, sînt promiţătoare. Printre acestea din urmă menţionăm pila de combustie cu electrozi din cărbune activat [1] realizată la fostul Inst. de Energetică al Academiei precum şi acelea realizate la ICPE, la Centrul de chimie—fizică şi la Institutul politehnic [3].

O altă direcţie de cercetare este aceea în care combustibilul gazos, hidrogenul, este înlocuit cu un combustibil lichid, dizolvat în electrolit. Astfel au apărut pilele de combustie cu hidrazină şi cu metanol, avînd, printre altele, avantajul unui contact bifazic, mai puţin pretenţios decît cel trifazic.

Este bine să ştim sau să ne amitim, cu această ocazie, că ideea folosirii combustibilului lichid în pile constituie o prioritate românească; într-adevăr, la Congresul de Electrotehnică de la Praga din 1938, Vasilescu-Karpen a prezentat comunicarea : „Sur l'utilisation de l'energie d'oxydation de l'alcool, dans les piles electriques" [4]. Vasilescu-Karpen a realizat o pilă cu electrozi identici, neatacabili din platină spongioasă dintre care unul vine în contact cu acid azotic, iar celălalt cu hidroxid de potasiu, cei doi electrozi fiind separaţi printr-un perete izolant, poros. A obţinut astfel o pilă : electrodul de Pt în contact cu acidul azotic fiind polul pozitiv. Pila debitînd, se polarizează repede; la anod se degajă oxigen iar f.e.m. scade de la 0,8 V la 0,4 V. Vasilescu-Karpen a adăugat, la soluţia de KOH, alcool; f.e.m. a pilei a crescut la 1,8 V, polarizarea nu s-a mai produs şi oxigenul nu s-a mai degajat la anod, servind la oxidarea alcoolului, transformîndu-l în acid formic. Calculîndu-se energia debitată de pildă în aceste condiţii s-a găsit egală cu căldura de reacţie a arderii alcoolului. S-a obţinut astfel (pe plan mondial) prima pilă de combustie cu combustibil lichid dizolvat. Deosebirea faţă de pilele actuale, care folosesc tot combustibil lichid, dizolvat, este că în acestea se foloseşte ca depolarizant la catod oxigenul sau aerul, în loc de acid azotic.

Pilele prezentate în lucrările [2] şi [3] folosesc electrozi din cărbune activat şi ca combustibil hidrazina.

Pentru a ilustra posibilităţile aplicării pilelor de combustie la tracţiunea urbană, în viitorul apropiat, vom da în continuare cîteva date tehnico-economice privind autoturismul Renault 4 L echipat cu un sistem de propulsie constituit din pilă de combustie plus motor electric. Acest autoturism este echipat cu o pilă de combustie H_2/Aer de 11 kW, dezvoltă la o încărcare de 200 kg o viteză maximă de 80 km/oră cu o autonomie în deplasare de 225 km şi la o viteză de 40 km/oră şi aceeaşi încărcare, o autonomie în deplasare de 510 km, iar radamentul este de cel puţin 1,6 ori mai mare decît al celui realizat prin propulsia cu motor cu explozie la aceeaşi putere şi în mediu de 3,15 ori mai mare la puteri de 25% din puterea maximă existentă la motoarele cu explozie. La o reţea de distribuţie a hidrogenului, preţul hidrogenului distribuit, pentru a fi competitiv cu cel al benzinei nu trebuie să depăşească 3,60 lei/m³. Referitor la costul acestui autoturism electric, se poate spune că, actualmente acesta este cu 40%—72% mai mare decît al unui autoturism cu motor cu explozie. Progresele ulterioare atît în domeniul pilelor de combustie cît şi în acel al adaptării diferitelor organe ale vehiculului la noua formă de tracţiune, va reduce mult această diferenţă de preţ existentă actualmente. Dar marele avantaj pe care îl au prin faptul că nu produc poluarea atmosferei şi nici zgomotul produs de actualele motoare cu explozie, militează în favoarea introducerii noului sistem cu propulsie în tracţiunea urbană, chiar la preţul actual. Pe de altă parte soluţia folosită la pila de combustie cu hidrogen-aer nu este singura soluţie care poate fi folosită la pilele aplicate la tracţiunea electrică. Cercetările efectuate cu pila zinc-aer şi pila sodiu sulf arată că şi aceste surse chimice de energie electrică pot fi folosite în acelaşi scop. O comparaţie în ceea ce priveşte greutatea totală a vehiculului echipat cu una din pilele folosind aceste trei soluţii, ne arată că această greutate este actualmente de 1110 kg pentru pila cu zinc-aer, de 945 kg pentru pila de combustie cu hidrogen şi 814 kg pentru pila cu sodiu-sulf, iar puterea specifică în Wh/kg este de 100—150, 307 pentru cele 3 soluţii, respectiv. Deşi pila sodiu-sulf pare a fi cea mai avantajoasă, ca mijloc de propulsie auto sub aspectul greutăţii totale şi al puterii specifice, cifra indicată se referă momentan numai la rezultate de laborator.

În concluzie putem afirma că pila de combustie va ocupa în balanţa energetică a viitorului, a transformării directe a energiei combustibililor primari în energie electrică, un loc important.

Să trecem acum la celălalt izvor de energie electrică obţinut din conversia directă a căldurii — şi anume la „Pila termoelectrică". Acesta ocupă în lumina energeticii viitorului domeniul puterilor mici cuprinse între 1 Watt şi cîteva sute de Waţi, o extindere la puteri mai mari nefiind totuşi exclusă. Deşi fenomenul care stă la baza funcţionării generatoarelor termo-electrice este cunoscut încă din 1921 şi aplicat la măsurătoarea temperaturilor cuptoarelor, sub denumirea de efect Seebeck, acest efect nu a fost folosit în scopuri energetice decît relativ recent, odată cu descoperirea semiconductoarelor şi a proprietăţilor acestora. Să reamintim succint în ce constă efectul Seebeck.

Într-un lanţ închis constituit dintr-o succesiune de metale diferite, sudate cap la cap (fig. 3) şi supus la o temperatură uniformă,

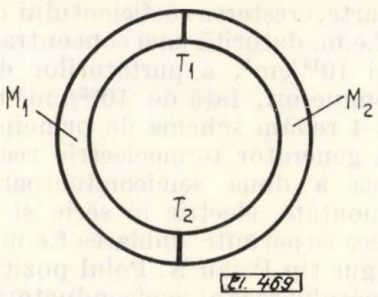


Fig. 3

conform legii lui Volta, f.e.m. rezultată de-a lungul circuitului este nulă : d.d.p. la joncţiuni se compensează reciproc. Dacă însă două din suduri se găsesc la temperaturi diferite, d.d.p. respective nu se mai compensează reciproc şi apare o f.e.m. rezultantă şi deci şi un curent. Condiţia apariţiei unui curent este deci realizarea unei căderi de temperatură, adică existenţa a două surse de căldură, sursa rece şi sursa caldă, ca în orice maşină termică. Această transformare a căldurii în energie electrică este supusă principiului al 2—lea al termo-dinamicii exprimat în cazul unei transferări reversibile, prin relaţia randamentului [1] din care se vede că pentru $T_1 = T_2$, $\eta = 0$, dar ca şi în cazul transformării în lucru mecanic, transformarea în energie electrică, prin efectul Seebeck, este ireversibilă, din cauza pierderilor inevitabile, atît termice (prin conductibilitate etc.) cît şi electrice (Joule), astfel încît expresia (1) se înmulţeşte cu un factor subunitar care ţine seama de aceste pierderi.

Acest factor subunitar face ca $\eta = 0{,}1\%$. Vedem astfel motivul pentru care asemenea lanţuri metalice heterogene nu pot fi folosite în scopuri energetice.

Dar, odată cu apariţia semiconductoarelor, lucrurile se schimbă şi studiile sistematice interprinse de către şcoala Academicianului Joffe, în U.R.S.S, în legătură cu efectul Seebeck în lanţuri metalice cu semiconductoare au arătat o amplificare considerabilă a efectului Seebeck la joncţiunile metal-semiconductor ceea ce a permis realizarea unor generatoare

termo-electrice cu randamente de 8—10%, deci interesante pentru scopuri energetice.

Se construiesc astăzi generatoare de puteri cuprinse între 20 şi 200 Waţi, pentru alimentarea posturilor de radiorelee, de radioreceptie şi alte numeroase aplicaţii. Fără a intra în teoria modernă a efectului Seebeck, voi menţiona că ceea ce nu s-a putut obţine cu joncţiuni între 2 metale, s-a obţinut cu joncţiuni metal—semiconductor, datorită, pe de o parte, conductibilităţii termice mult mai reduse a semiconductoarelor, ceea ce a permis realizarea unui gradient de temperatură mult mai mare şi deci, conform relaţiei (1), o creştere corespunzătoare a randamentului ciclului Carnot, iar, pe de altă parte, creşterea coeficientului de temperatură a f.e.m. datorită unei concentraţii optime de numai $10^{18}/cm^3$, a purtătorilor de sarcină în semiconductori, faţă de $10^{23}/cm^3$ în metale. În figura 4 redăm schema de principiu a unui asemenea generator termoelectric realizat prin asamblarea a două semiconductoare de tip P şi N, montate electric în serie şi termic în paralel ceea ce permite dublarea f.e.m. produsă de un singur tip P sau N. Polul pozitiv este de partea capătului rece al semiconductorului de tip N sau de partea capătului cald al semiconductorului de tip P. După cum se vede în această figură generatorul dispune de o sursă caldă (gaz sau radioizotopi), având o putere termică Q, care ridică temperatura joncţiunilor calde la temperatura T_1, care nu trebuie să depăşească o anumită valoare prescrisă pentru semiconductor; temperatura sursei reci T_2 este deseori

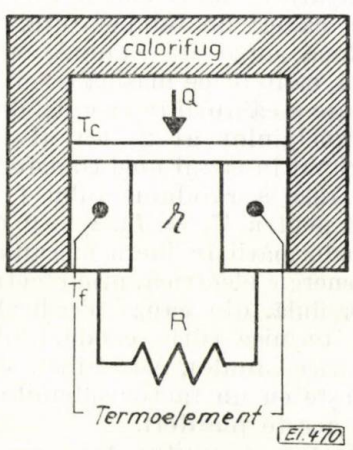


Fig. 4

impusă ca, spre exemplu, în cazul generatoarelor termo-electrice submarine, unde T_2 este temperatura apei de mare.

Asemenea generatoare sînt destinate a fi folosite în locuri greu accesibile şi unde prezenţa unei surse de electricitate este necesară ca spre exemplu într-o instalaţie de balisaj radioelectric pentru navigaţia aeriană. Frecvenţa intervenţiilor umane trebuie să fie redusă la minimum, aceste instalaţii fiind legate de fiabilitatea generatoarelor şi de aprovizionarea cu energie sub formă de carburant sau radioizotopi.

Fiabilitatea unor asemenea generatoare termo-electrice este foarte mare, neavînd părţi mobile. Aprovizionarea cu energie nu depinde într-un caz decît de perioada radioizotopului ales şi în celălalt caz, de volumul carburantului stocat pe loc. Autonomia tipică în primul caz este de 5 ani iar în al 2-lea de un an, pentru un generator cu gaz.

În figura 5 s-a reprezentat un generator termoelectric cu gaz, iar în figura 6, un generator

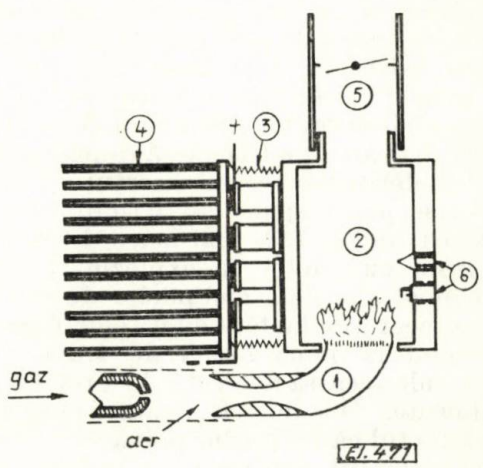


Fig. 5

termoelectric cu radioizotopi. După cum se vede, în figura 5 : *1* este arzătorul de gaz; *2*— un coş de tiraj conceput astfel pentru a asigura o temperatură uniformă pe faţa încălzită a modulului termo-electric; *3*—un modul ermetic închis conţinînd un mare număr de cuple termo-electrice montate electric în serie şi termic în paralel, termocuplele fiind asamblate într-un izolant termic, *4* — un radiator cu ventilaţie naturală asigurînd o temperatură uniformă pe faţa rece a modulului termoelectric. Un asemenea generator de 80 Waţi consumă 3 kg/Wh, de gaz (butan sau propan) având o autonomie de funcţionare de 10 luni pentru o cisternă de 2 000 kg. Aplicaţiile sînt multiple : la relee herţiene; la prospecţii şi exploatări petroliere; la staţiile meteorologice automate : la balize pentru navigaţia aeriană; la aparatele înregistratoare şi emiţătoare etc.

În figura 6 se vede, în centru, radioizotopul a cărui căldură degajată este convertită în energie electrică. Radioizotopul este înconjurat de un blindaj primar permiţînd absorbţia majorităţii energiei produsă de radioizotop; în jurul blindajului, de o parte, se găsesc termo-elementele, de altă parte, un izolant termic canalizînd căldura spre termo-elemente. In fine la exterior un ansamblu cu aripioare, asigurînd cedarea căldurii neconvertite, mediului ambiant. Acest ansamblu poate servi şi ca blindaj secundar de

protecţie contra radiaţiilor. Ca radioizotop poate fi folosit stronţiu 90. La o încărcare de 90.000 Curies, generatorul debitează o putere de 20 Watt sub o tensiune de 24 Volt.

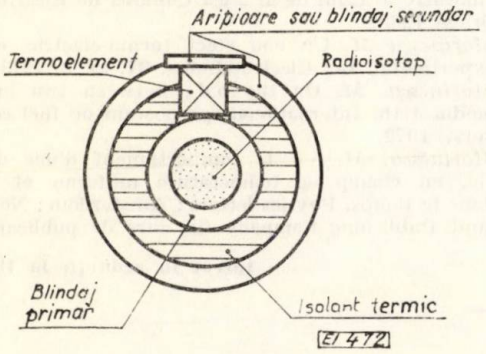


Fig. 6

După cum s-a văzut, folosirea joncţiunilor metal-semiconductor a permis, datorită efectului Seebeck amplificat, realizarea unor generatoare termoelectrice folosite în scopuri energetice, dar numai în domeniul puterilor mici, unde randamentul nu constituie factorul hotărîtor în adoptarea unei soluţii. Descoperirea recentă a unui nou efect termo-electric [5], [6], [7], pare să permită depăşirea actualului stadiu de dezvoltare a generatoarelor termoelectrice prin sporirea randamentului conversiei căldurii în energie electrică. Este vorba de un efect termo-electric diferit de efectul Seebeck prin aceea că se produce la joncţiuni metal — semiconductor, dar în lipsa unui gradient de temperatură. Singura disimetrice introdusă într-un lanţ închis, ca acela din figura 7, şi în care se manifestă noul efect, este datorită faptului că semiconductorul se găseşte cuprins între două metale diferite, avînd ceea ce se numeşte travalii de extracţie diferite. În aceste

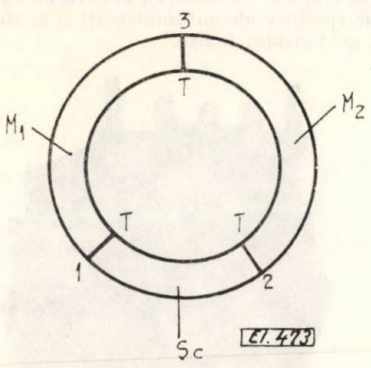


Fig. 7

condiţii d.d.p. la cele 3 joncţiuni nu se mai compensează reciproc şi apare o f.e.m. rezultantă. Dat fiind că toate joncţiunile sînt la aceeaşi temperatură, înseamnă că avem într-un asemenea sistem conversia căldurii în energie electrică, folosind o singură sursă de căldură, deci contrar principiului al 2-lea al termodinamicii. Căldura nemaifiind cedată, în parte, sursei reci, se transformă integral în energie electrică, randamentul acestei transformări putînd atinge teoretic unitatea. Faptul existenţei unei abateri, la scară macroscopică, de la principiul lui Carnot, a stîrnit, cum era şi de aşteptat, un val de opoziţie din partea majorităţii fizicienilor, care, crescuţi în tradiţia inviolabilităţii acestui principiu, verificat în mod constant, de la Carnot pînă astăzi, de generaţii de fizicieni, nu puteau accepta, de bună voie, o asemenea excepţie de la un principiu a cărui universalitate devenise o dogmă. Dar faptele par a da dreptate autorului acestor rînduri, care a descoperit noul efect. Într-adevăr, cercetări recente efectuate independent în S.U.A. de către compania „Gourdine Systems" au dus la realizarea unor generatoare termo-electrice funcţionînd tot cu o singură sursă de căldură. Aceste generatoare fac obiectul brevetului englez nr. 1173605.

În figura 8 redăm schema de principiu a unui generator termo-electric experimental folosind noul efect termo-electric şi în care semiconductorul de Ge este încadrat între o pătură subţire de Al şi una de Pt. F.e.m. este de ordinul mV şi curentul debitat, de ordinul mA. Prin cercetări viitoare se vor demonstra posibilităţile de mărire a puterii, atît prin înserierea mai multor celule identice, cît şi prin alegerea metalelor celor mai potrivite, a temperaturii optime şi a concentraţiei optime a purtătorilor de sarcină ai semiconductorului.

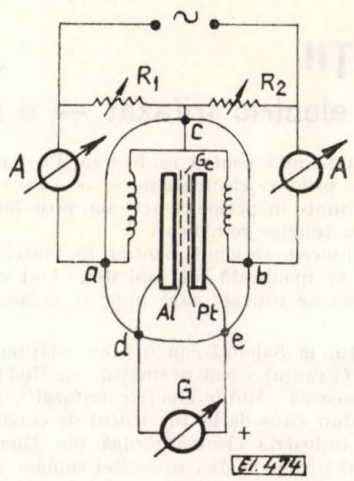


Fig. 8

Am prezentat în această lucrare, unele din realizările recente şi direcţiile de cercetare pentru viitorul apropiat, care se referă la conversia directă a energiei combustibililor primari în energie electrică, ca şi aceea a transformării directe a căldurii în energie electrică. Progresele realizate pînă acum în aceste domenii ale tehnicii, ne îndreptăţesc să afirmăm

fără a risca prea mult, că aplicarea noilor metode va pune capăt, atît risipei iraţionale de energie, inerentă metodelor clasice, cît şi dezechilibrului ecologic, determinat de acestea, în procesele ireversibile, pe care le produc în mediul în care trăim.

Bibliografie

[1] *Marinescu, M.* şi *Doboş, St.* Procese de reducere catalitică a oxigenului, în Pila de Combustie, pe suport de cărbuni special trataţi. În: Studii şi Cercetări de Energetică şi Electrotehnică, vol. **19**, nr. 2, 1969.

[2] *Marinescu M.*, şi *Doboş, St.* Pila de combustie cu hidrazină. În: Studii şi Cercetări Energetice şi Electrotehnică, vol. **20**, nr. 4, 1970.

[3] *Constantinecu, D.* Contribuţii la studiul pilelor de combustie cu combustibil lichid. Teză de Doctorat, I.P.B. 1972.

[4] *Karpen, V.* Sur l'utilisation de l'energie d'oxydation de l'alcool, dans les piles electriques. În: Volumul comemorativ al celui de al 2-lea Congres de Electrotehnică, Praga 1938.

[5] *Marinescu M.* Un nou efect termo-electric, constatat experimetal. În: Electrotehnica, **21**, nr. 3, 1973.

[6] *Marinescu, M.* On the p.d., between two inmiscible media 4 th. Internaţional symposium on fuel cells, Anvers, 1972.

[7] *Marinescu, M.* Sur le comportement d'une diode au Ge, en champ de température uniforme et variable dans le temps. Physics letters: Amsterdam: North Holland Publishing Company (în curs de publicare).

Intrat în redacţie la 19.II.1973

REALIZĂRI DIN INDUSTRIE

Cel mai mare electrofiltru antipoluant de producţie românească

Problema fabricării unor utilaje şi aparate, menite să înlăture poluarea mediului înconjurător cu gaze nocive, preocupă tot mai mult pe realizatorii noilor produse industriale din ţara noastră. Astfel, de curînd, la numai trei luni de la intrarea în funcţiune, la Intreprinderea de utilaj pentru industria materialelor de construcţii şi refractare — Bistriţa a avut loc un eveniment deosebit. Aici a început fabricarea celui mai mare electrofiltru, cu o capacitate de 560.000 metri cubi pe oră. Agregatul este destinat fabricii de ciment de la Mintia. El se prezintă ca un gigant utilaj antipoluant, capabil să purifice, într-o oră, o cantitate de 560.000 metri cubi de gaz, avînd dimensiunile unei case şi cîntărind peste 350 tone. În interiorul acestui electrofiltru se realizează un cîmp electrostatic de 60—80.000 de volţi, care ionizează particulele de praf ce se depun pe nişte plăci colectoare. Meritoriu în construcţia gigantului utilaj este faptul că a fost proiectat în întregime în ţară.

De remarcat mai este şi faptul că toate utilajele şi agregatele produse de Intreprinderea de utilaje pentru materiale de construcţii şi refractare din Bistriţa au o funcţie antipoluantă şi pot fi folosite în majoritatea ramurilor industriale. În cele trei luni de funcţionare a fabricii amintite s-au asimilat şi s-au fabricat aici electrofiltre, de 60.000 şi de 84.000 metri cubi pe oră. Recent, a început fabricarea unei noi serii de electrofiltre (de 31.000 m.c./oră 32.70 mc/oră şi 19.000 mc/oră), paralel cu pregătirea tehnologiei de fabricaţie a unui alt filtru gigant, cu o capacitate de 230.000 mc/oră

C.A.

INVENŢII

Motorul electric trifazat — o invenţie medaliată cu aur

O cale importantă pentru realizarea diversificării nomenclatorului de produse electrotehnice, pe care se pune un accent tot mai mare în perioada actuală, este folosirea intensă a inteligenţei tehnice româneşti.

Interesul mereu crescînd pentru motoarele trifazate de mică putere se manifestă tot mai des, fapt ce rezultă din numărul mare de brevete care apar în străinătate în acest domeniu.

Anul acesta, la Salonul concurs internaţional de invenţii de la Nancy (Franţa) a fost premiată, cu Medalia de aur, invenţia românească „Motor electric trifazat", al cărui autor este ing. Ştefan Gros de la Institutul de cercetări şi proiectări pentru industria electrotehnică din Bucureşti.

Noutatea şi originalitatea invenţiei româneşti, comparativ cu motoarele clasice, constă în primul rînd în construcţia mult simplificată, esenţial diferită. Concepţia constructivă originală nu se rezumă numai la reducerea considerabilă a preţului de cost, ci şi la obţinerea unui indice superior de siguranţă.

Soluţia prin care autorul a reuşit să obţină aceste performanţe este aplicarea, la noul tip, numai a două bobine statorice, realizîndu-se în aceste condiţii toate caracteristicile generale ale motoarelor clasice. Sînt posibile, de asemenea, izolarea şi răcirea mai bună a bobinelor, dată fiind amplasarea lor exterioară. Aceste motoare au un larg cîmp de aplicabilitate în construcţia ventilatoarelor (în figura 1 este arătat un motor pentru ventilator, care urmează a fi montat în carcasa unui redresor de sudare), pentru agregatele electrice, în domeniile specifice ale automatizării şi în sfera motoarelor alimentate cu tensiuni înalte.

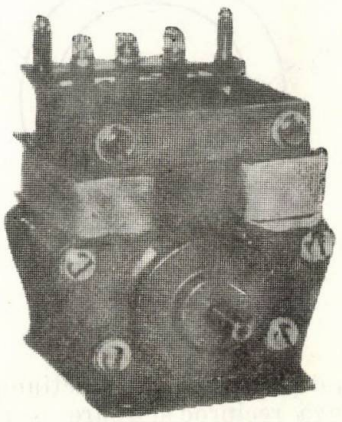


Fig. 1

Invenţia premiată a fost brevetată în Austria, şi S.U.A.; alte ţări solicită şi ele obţinerea brevetului.

ing. *Florin Tănăsescu*

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

Participarea României la Tîrgul internațional de construcții mecanice de la Brno — 1973

Ediția din anul acesta a Tîrgului internațional de construcții mecanice de la Brno a avut un caracter jubiliar. S-au împlinit 15 ani de la prima ediție a acestei importante manifestări economice a R.S.Cehoslovace, manifestare care și-a cîștigat un meritat prestigiu internațional.

Pe o suprafață acoperită de 80.000 mp și tot atîta suprafață descoperită, au fost prezentate standurile cu exponate a peste 1 600 firme.

În pavilioanele specializate, precum și pe terenurile de expunere descoperite, au fost expuse mașini și utilaje pentru prelucrarea metalelor, mașini pentru prelucrarea lemnului, utilaj minier, utilaj metalurgic, utilaj pentru inustria alimentară, pentru industria sticlei, utilaje pentru industria chimică, utilaje pentru industria textilă, pielărie și cauciuc, utilaje pentru industria poligrafică, aparate climatice, armături, pompe, motoare diesel, mașini, aparate și materiale electrice de înaltă și joasă tensiune, aparate de măsură și control mecanice, electrice și electronice, aparate de laborator, mașini și utilaje de construcții, autocamioane și tractoare, mașini agricole, autoturisme, materiale plastice și utilaje pentru fabricarea și prelucrarea acestora.

România a participat în acest an la Tîrgul internațional de construcții de mașini de la Brno pentru a 15-a oară. Oferta industriei constructoare de mașini din țara noastră s-a prezentat în acest an într-un mod cu totul deosebit față de anii anteriori.

Pe o suprafață de expunere de peste 2000 mp., de două ori mai mare ca în 1972, România a fost prezentată prin Mașinoexport-import, Electroimport, Electronum, Autotractor-Dacia, Mecanoexportimport și Industrialexport, întreprinderi de comerț exterior ale industriei românești constructoare de

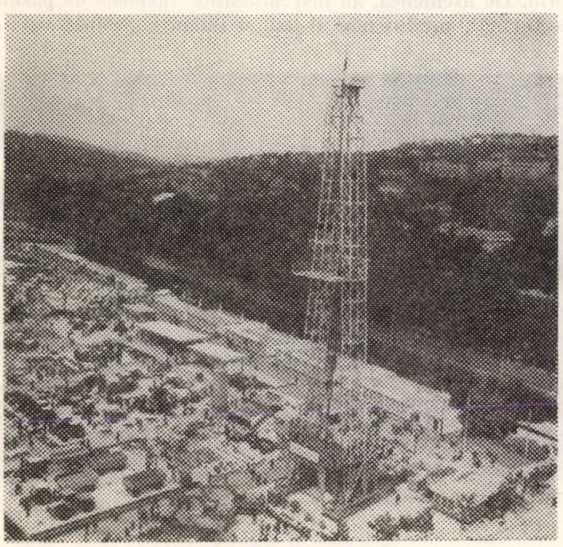


Fig. 1

mașini. Ceea ce a constituit o atracție deosebită pentru toți vizitatorii tîrgului a fost instalația de foraj F 320—3DH (fig. 1) expusă de Industrialexport pe a cărei turlă înaltă, de 60 m flutura tricolorul României, simbol al industriei noastre socialiste, în continuă dezvoltare.

Instalația de foraj F 320—3 DH a fost deosebit de apreciată de specialiști și de marele public, ziarele închinîndu-i articole elogioase. Medalia de aur care i-a fost acordată a încununat succesul acestui important exponat, realizare a harnicilor constructori de mașini ai Uzinei „1 Mai" Ploiești.

Exponantele industriei constructoare de mașini din România au fost prezente aproape în toate sectoarele:

— Mașinoexport-import (fig. 2) a expus, alături de Strojimport R.S.C., Technoimpex și WMW R.D.G., Stankoimport U.R.S.S. și numeroase firme de specialitate din R.F.G., Elveția, Italia ș.a., un sortiment bogat de mașini-unelte pentru prelucrarea metalelor dintre care menționăm: mașina de rectificat universală RU—350 și RU—100, mașina de

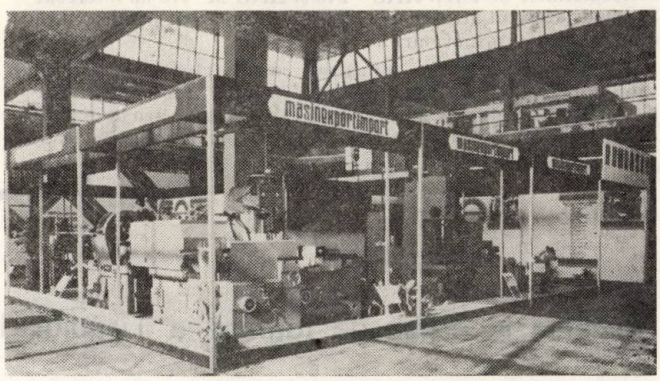


Fig. 2

rectificat plan RPO—200, ferăstrăul circular FCA — 710, mașina de ascuțit burghie MAB ș.a., care s-au bucurat de un deosebit interes din partea partenerilor cehoslovaci și din alte țări.

Mașinoexport-import a încheiat contracte ferme, atît pentru exponatele prezentate cît și pentru alte tipuri de mașini din programul de fabricație al uzinelor producătoare, cu livrarea atît în 1973 cît și în 1974 și 1975.

Electroexport-import a prezentat în acest an, în pavilionul destinat industriei electrotehnice, produse care, interesau în special pe beneficiarii din R.S.C, specifice acestei piețe.

S-a remarcat un deosebit interes pentru:
— cabluri și conductori electrici;
— electromotoare;
— transformatori de putere;
pentru care s-au primit cereri importante cu livrarea în 1974—1975.

Comparîndu-se exponatele industriei electrotehnice din România cu cele din standurile similare ale altor țări și firme, s-a apreciat că Electroexport-import a prezentat o gamă largă de produse, frumos executate și prezentate într-o formă atrăgătoare.

Cu participarea la această ediție, *Electronum* s-a prezentat pentru a doua oară în acest an la Tîrgul internațional de la Brno: la ediția de primăvară, cu produse destinate populației (radio, televizoare, frigidere etc.), iar acum cu produse tehnice din domeniul electronicii, tehnicii de calcul și automatizării.

Au fost mult apreciate mașinile de calcul românești Felix CE—164 și CE—125 T din care s-au cerut cantități importante pentru livrare în 1974. De asemenea, s-a cerut livrarea unor mari cantități de mașini de calculat electromecanice, produse de Electro-Mureș.

S-au primit și numeroase cereri pentru lămpi cu incandescență, tuburi cinescop, lămpi electronice și semiconductori, aparataj de joasă tensiune, aparate de măsură electrice industriale din producția întreprinderii românești FEMI.

În pavilionul M, *Mecanoexport* a expus motorul Diesel de 120 CP al uzinelor Timpuri Noi, piese și subansamble ale motoarelor MB produse de Uzinele 23 August, o gamă dlț compresoare și electrocompresoare (TN), iar pe terenuriez exterioare de expunere aceiași întreprindere a fost prezeenă cu exponatele industriei românești de material rulant (locomotiva LDH—125, seturi de echipamente de frînă) ale industriei de utilaj minier, bogat reprezentat cu locomotiva de mină LDM—45 A etc.

Atît în pavilionul auto cît și pe terenul de expunere exterior, industria noastră de autocamioane, autoutilitare, autoturisme, precum și cea de mașini agricole, a fost prezentă cu numeroase exponate (fig. 3).

Pentru prima oară, alături de exponatele marilor producători Ford, Honda, Mercedes, SAAB, Chrysler, Renault, Citroen, Fiat, BMW, Blumhardt ș.a., s-au remarcat și au atras atenția vitatorilor autocamioanele, autoutilitarele și autoturismele românești. Noile tipuri de autocamioane cu motoare Diesel, ROMAN de mare capacitate, autoutilitare din seria TV—12, autoturismul BREAK-Dacia 1 300 autoturismele de teren ARO—240 și ARO M—473 au interesat în mod deosebit atît pe specialiști, cît și marele public, fiind expuse pentru prima oară la acest tîrg.

Bogata participare a industriei constructoare de mașini din România la această ediție a Tîrgului internațional de la Brno a fost elogios apreciată de către conducerea de partid și de stat precum și de către cadrele din economia Republicii Socialiste Cehoslovace, ea încadrîndu-se în politica consecventă a României, de dezvoltare a legăturilor economice cu țările socialiste.

Participarea noastră la această ediție s-a încheiat și cu bune rezultate comerciale, care au întrecut cu mult pe cele

Fig. 3

din anii anteriori. În afară de contractele ferme semnate în cele 10 zile cît a funcționat, ediția din această toamnă a Tîrgului internațional de la Brno a însemnat un real succes pentru întreprinderile noastre de comerț exterior participante, cu perspective din cele mai bune pentru creșterea cantitativă a schimburilor comerciale între R.S. România și R.S. Cehoslovacă precum și cu alte țări în domeniul construcțiiilor de mașini.

Iosif Felea

România la ediția de toamnă a Tîrgului de la Leipzig

Tîrgul Internațional de la Leipzig, ediția de toamnă, a avut loc între 2 și 9 septembrie 1973 avînd de data aceasta, pe lîngă tradiționalul caracter de tîrg de bunuri destinate consumului și necesităților populației, și un caracter industrial.

Obiectul acestor ediții ale Tîrgului Internațional de la Leipzig a fost larg extins, căpătînd un caracter complex de bunuri de larg consum și industriale în domeniul construcțiilor de mașini pentru industria ușoară, prelucrarea lemnului, autoturisme și autocamioane și utilaj chimic.

Ca și ediția de primăvară și ediția de toamnă a fost organizată pe principiul pavilioanelor specializate.

România a participat cu exponantele sale în cîteva pavilioane specializate și pe un teren exterior de circa 2 000 mp.

Standurile Mașinoexport-import erau prezentate în două hale, hala nr. 17 cu mașini pentru industria textilă și hala nr. 21 cu mașini pentru prelucrarea lemnului. România a fost singura țară socialistă care a expus mașini pentru prelucrarea lemnului.

În domeniul construcțiilor de mașini pentru industria ușoară, competiția a fost foarte mare. Au fost prezente în acest sector numeroase firme, atît din țările socialiste cît și din cele vestice, în special cu mașini destinate industriei confecțiilor, războaie automate pentru lînă, pentru perdele, precum și mașini combinate.

Industria constructoare de mașini din România a fost prezentă cu exponate care au interesat în mod deosebit pe vizitatorii specialiști, atît din R.D.G., cît din alte țări.

Mașinile pentru prelucrarea lemnului au fost solicitate atît de către parteneri din R.D.G., cu care s-au încheiat și contracte, cît și de firme comerciale, vestice. Mult apreciate au fost mașinile combinate ILIC—2.

Dintre mașinile pentru industria textilă, au prezentat un foarte mare interes pentru specialiști, laminorul de bumbac și carda de bumbac (fig. 1).

Firmele de specialitate din R.D.G. au solicitat un număr mare din aceste două tipuri de mașini cu livrarea în 1974 și 1975. De asemenea, au fost solicitate războaie de pasmanterie tip AP, produs nou al uzinei Balanța Sibiu.

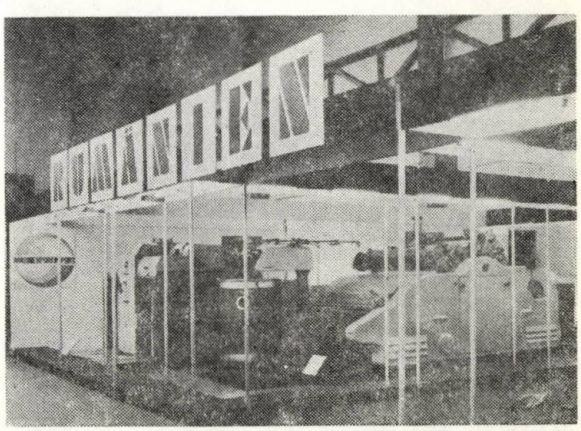


Fig. 1

Pentru laminorul și carda de bumbac au solicitat oferte firme din R.F.G., Brazilia, Algeria și altele.

În standul de pe terenul exterior, (fig. 2) industria construcțiilor de mașini grele a fost prezentă cu : autocamioneta TV 12 C; autofurgoneta TV 12 F; autosanitara TV 12 S; automicrobuz TV 12 M; remorca TM 2; autoturismele Dacia 1 300; autoturismele de teren M—461 și ARO 240, exponate care

au fost mult apreciate atît ca prezentare, cît și comportament, la probele la care au fost supuse.

Autoutilitarele — produse noi ale Uzinei Autobuzul București, au constituit obiectul atractiv al standului, fiind expuse

Fig. 2

pentru prima oară la Leipzig și au provocat interesante discuții cu partenerii din R.D.G. pentru eventualele cooperări în producție.

S-au finalizat discuțiile pentru semnarea unor contracte ferme pentru livrarea în 1974 pentru R.D.G. de autoutilitare și autocamioane basculante.

S-a semnat un contract ferm pentru autoturisme de teren și este cunoscut faptul că pentru autoturisme Dacia 1300 este în curs de derulare un contract important.

Prezentă și la această ediție a Tîrgului Internațional de la Leipzig, industria constructoare de mașini din România a marcat din nou dezvoltarea crescîndă a relațiilor bilaterale de colaborare între R.S.România și Republica Democrată Germană, prin creșterea an de an a livrărilor reciproce și printr-o accentuată tendință de cooperare în producție, cu rezultate reciproc avantajoase.

Contactele prilejuite de această importantă manifestare economică internațională, discuțiile purtate de delegația guvernamentală română condusă de tov. ing. Mihai Florescu ministrul industriei chimice și tov. Marin Trăistaru adjunct al ministrului comerțului exterior cu Gunter Wischowschi ministrulul industriei chimice și Horst Solle ministrul comerțului exterior din R.D.G. pentru executarea prin cooperare în producție a unor instalații pentru industria chimică, atît pentru nevoile celor două țări cît și pentru terți. Standurile confirmă pentru ambele părți premisele unei colaborări din ce în ce mai rodnice.

Iosif Felea

E 2040

Sumar anual şi index alfabetic de autori

Anul XXI, 1973

Sumar

1. 1. CZ 061.3 Colectivităţi. Congrese

CZ 061.3 :621.3(498.31)

1.1. *Prima sesiune ICENERG* (oct. 1973); *Zilele tehnicii R.D. Germane în Republica Socialistă România.* (Cronici-Greta Andrei)
8,329—330

CZ 061.3 : 621.3. „1973"

1.2. ELEKTRIM. *Conferinţă tehnică — Aparatură de curent continuu; ESTIMO—73, prima expoziţie economică internaţională găzduită la Bucureşti* (Cronică — Greta Andrei)
7, 292

CZ 061.3 :621.3 „CIGRE"

1.3. *A 24-a sesiune CIGRE.* (Manifestări ştiinţifice şi tehnice).
11

CZ 061.4. 621.3. „1973"

1.4. *Zilele economice cehoslovace.* (Cronică-Maria Constantin).
7, 292

CZ 061.4.43. 621.3. „1973"

1.5. *Noutăţi în domeniul industriei electrotehnice şi electronice prezente la Tîrgul de primăvară de la Leipzig* — 1973 (Cronică — Maria Constantin)
7, 289—292

CZ 092 :57 Marinescu

1.6. *Profesorul doctor docent Matei Marinescu la vîrsta de 70 ani* (Aniversări-V. Corlăţeanu).
10, 407

CZ 537.5,

2. Descărcări electrice. Radiaţii.

CZ 537. 312.6 : 621.3.

2.1. Hadlow, M.E.C., Bayles, J.A.. şi B. C. Lindley. *Superconductivitatea şi aplicaţiile sale în electrotehnică* (Recenzie-Răzvan Măgureanu)
4, 166—167

CZ 537.322./4 :621.352.12

2.2. Marinescu M.: *Un nou efect termo-electric constatat experimental*
3,89—94

CZ 537. „Laboratorul de electrofizică I.C.P.E."

2.3. Din activitatea de cercetare. *Laboratorul de electrofizică al I.C.P.E.* (Referat-Constantin Cruceru).
11, 441

3. CZ 538.3. Electrodinamică.

CZ 538.3 : 621. 371 :530.182 : 517. 9 : 621.301

3.1. P. M. Kolesnicov: *Introducerea în electrodinamica neliniară.* (Recenzie — A.Crăciunescu)
2,86

4. CZ 621.3. Electrotehnică generală.

CZ 621.3.

4.1. *AEG-Hilfsbuch* 2, *Handbuch der Elektrotechnik* (Recenzie-V.Truşcă)
2, 86—87

CZ 621.382.3 Ge : 537.311.33

4.2. Poenaru, D.M.: *Aproximări ale relaţiei viteză — cîmp electric pentru purtători de sarcină în detectoare coaxiale Ge (Li)*
2, 80—85

CZ 621.3.(09) (498)

4.3. Răduţ, C.: *UMEB — prezenţă activă în ţară şi peste hotare.*
8, 293—297

CZ 621.3.01.

4.4. A. M. Sucilin: *Utilizarea grafurilor orientate în problemele de electrotehnică.* (Recenzie-A. Crăciunescu).
1,44

CZ 621.3.013. : 621.318.4.

4.5. Şerbănescu,M.: *Modalităţile de influenţare a intensităţii cîmpului magnetic al bobinei elicoidale masive parcursă de curent oscilatoriu amortizat.*
4, 137—141

CZ 621.3.014 :621.2.014.424

4.6. Golovanov, C.: *Efecte fiziologice ale trecerii curentului electric prin organismul uman.*
4, 129—136

CZ 621.3.014.31 : 621.316.57.064.3.681.14

4.7. Sasu, Mimi: *O nouă metodă de cercetare pe calculator analogic a unui arc electric modulat pe baza ecuaţiei lui Cassie şi Mason.*
6, 209—220

CZ 621.3.014.31 :621.316.57.064 :681.14

4.8. Sasu, Mimi: *Folosirea calculatorului analogic la studierea condiţiilor de instabilitate a unui arc electric, descris de ecuaţia lui Cassie şi Mason.*
9, 343—350

CZ 621.3.014.31.001.25 : 621.3.064.

4.9. Sasu, Mimi: *Analiza stingerii şi reaprinderii unui arc electric cu reacţie modelat pe baza ecuaţiei lui Mayr.*
1, 1—10.

CZ. 621.3.014.31.001.25 :621.316.5.064.4.

4.10. Sasu Mimi: *Stabilirea condiţiilor de trecere de la stingerea la reaprinderea unui arc electric descris de ecuaţia lui Mayr.*
3, 101—108

CZ 621.3.014.31.001.25 :621.316.573

4.11. Hortopan, Gh. şi Truşcă, V.: *Modele matematice ale arcului electric în contactoarele de joasă tensiune de curent alternativ.*
3, 95—101

CZ 621.3.001.5 :621.312 ICPE

4.12. Tănăsescu, Fl.: *Contribuţia cercetării tehnologice din I.C.P.E. la modernizarea producţiei.*
11, 413—420

CZ 621.3.066 : 621.316.57 : 621.317.33
4.13. Cîrstea D., Rarinca, O., Rotileanu, P. şi Curelaru, A. : *Laboratorul de mare putere al Uzinelor Electroputere Craiova.*
9, 333—342

CZ 621.3.066.6.001.891.
4.14. Suciu, I. : *Contribuţii la studiul experimental al rezistenţei de contact în joncţiunile neomogene. Aplicaţie la contactul lamelei centrale a duliei E—27.*
7, 264—270

CZ 621.3.
4.15. Tănăsescu, Fl. : *Realizări şi perspective în domeniul electrotehnic, la a 26-a aniversare a proclamării Republicii.*
12, 445—452

CZ 621.3.
4.16. *Dicţionarul de termeni tehnici — (Noi materiale documentare — Acad. Aurel Avramescu)*
5,206—207

CZ 621.3.
4,17. Referate : 1 (3), 3 (2); 4(1)

5. CZ 621.311 Centrale electrice. Instalaţii de alimentare cu energie electrică.

CZ 621.311.1. : 621.316.1.05
5.1. E. W. Kimbark : *Transportul energiei în curent continuu* (Vol. 1). (Recenzie-Răzvan Măgureanu)

4, 165—166
CZ 621.311
5.2. Referate : 7(1)

6. CZ 621. 312 Industrie electrotehnică

CZ. 621.312 :621.317.2.027.3/7 : 621.386.843
6.1. Marinescu, A. : *Ecranarea electromagnetică a laboratorului de înaltă tensiune de la Electroputere — Craiova.*
5, 169—180

CZ 621.312
6.2. *Accelerarea ritmului de diversificare şi modernizare a producţiei* (Consfătuire organizată la Bucureşti cu specialişti din industria constructoare de maşini şi electrotehnică — Oprescu Teodosia)
10, 408—410

CZ 621.312
6.3. *Realizări ale Industriei româneşti. Noi produse.*
5, 202—203

CZ 621.312 (47)
6.4. *UMEB — 25 de ani de producţie electrotehnică*
6,247—250

CZ 621.312
6.5. *Realizări ale industriei din ţara noastră. Produse existente în fabricaţie curentă.*

6, 250—253
6.6. *Realizări ale industriei romîneşti. Inovaţii.*
7, 285—286

CZ 621.312
6.7. *Realizări în domeniul motoarelor asincrone trifazate cu rotor în scurtcircuit şi frînă electromecanică destinate acţionării instalaţiilor de ridicat şi transportat tip A.S.F.M gabaritele* 80—160. (Realizări din industrie) (Gh. Zamfir)
8, 328

CZ 621.312
6.8. *Motoare de tracţiune pentru locomotive miniere* (Realizări din industrie (Cornel Barbu)
8, 328—329

CZ 621.312
6.9. *Motor electric sincron de 10500 kW; Accesorii pentru cabluri de energie de medie tesiune.* (Realizări din industrie)
9, 366—367

CZ 621.312
6.10. *Produse şi tehnologii noi.* (Cronică la Expoziţia Constructorilor de maşini-Oprescu Teodosia)
10, 411—412

7. CZ 621.313 Maşini electrice de curent continuu şi alternativ. Generatoare. Motoare.

CZ 621.313.1 : 534.21.001.4
7.1. Darabont, Alex. şi Văiteanu, D. : *Combaterea zgomotului maşinilor electrice rotative.*
7, 276—280

CZ 621.313.12.02.001.5
7.2. Bunea, V. : *Probleme de optimizare la generatoare de medie frecvenţă.*
8, 303—309

CZ 621.313.2.015.34 :681.339.713
7.3. Răducan, I. şi Călin, G. : *Determinarea repartiţiei tensiunii de impuls în transformatoarele de putere. Utilizarea modelelor electromagnetice.*
10, 373—378

CZ 621.313.222—523.2.004.8
7.4. Mircea Oprişor, Mircea Diaconescu, Virgil Moga şi Adrian Ciută : *Caracteristicile de reglaj pentru o schemă îmbunătăţită de comandă a maşinii serie de curent continuu*
6, 259—298

CZ 621.313.283.013.34
7.5. Cojan, M. : *Motorul pas cu pas cu reluctanţă variabilă.*
6, 220—223

CZ 621.313.322—82
7.6. Opaschi, M. : *Determinarea dimensiunilor principale ale momentului de volan şi a numărului de spire pe fază optimă pentru hidrogeneratoarele verticale sincrone.*
4, 156—163

CZ 621.313.32.012.004
7.7 Aurel Dobraniş : *Contribuţii privind funcţionarea maşinii sincrone cu excitaţie pe două axe. Conducător ştiinţific — Prof. dr. C. Apetri* (Teză de doctorat)
1,43

CZ 621.313.32.81—501.72.53
7.8. Măgureanu, R. şi Macrea, D. : *Asupra posibilităţilor de modelare fizică a turbogeneratoarelor româneşti de mare putere.*
9,360—366

CZ 621.313.322
7.9. B. T. Artemiuc : *Motoare asincrone cu sarcină periodică* (Recenzie — Aurelian Crăciunescu).
9, 370

CZ 621.313.33.025.3
7.10. Constantinescu V, Cănescu, S.. şi Crăciun M. : *Probleme privind regimurile tranzitorii ale maşinilor asincrone trifazate.*
8, 310—315

CZ 621.313.33—47
7.11. Turcu, I. şi Rusu, H. : *Contribuţii la pornirea cu acceleraţie controlată a motorului electric asincron.*
4, 141—145

CZ 621.313.333.1—566.076.2

7.12. Burcea, T.: *Domeniile regimurilor de viteză ale motorului asincron de macara cu turație continuu variabilă.*
3, 109—119

CZ 621.313.333.001.13

7.13. Răduț, C.: *Probleme ale proiectării motoarelor de inducție cu polii comutabili.*
8, 316—320

CZ 621.313. 333.2.014. 32

7,14. Andrei Radu: *Forțe normale și tangențiale la motorul asincron liniar de mare viteză*
2, 49—55

CZ 621.313.32

7.15. Corlățeanu, V.: *Cu privire la ecuațiile diferențiale ale mașinii sincrone.*
9, 351—360

CZ 621—313, 32

7.16. V. M. Kucevalov: *Mașinile sincrone în regimuri simetrice stabilizate* (Recenzie-Aurelian Crăcinescu)
10, 406

CZ 621.313.322

7.17. Dobraniș, A. și Măgureanu, R.: *Cu privire la performanțele mașinii sincrone cu excitație pe două axe.*
12, 453—458

CZ 621.313.333.2.042.12 :536.311

7.18. Boldea, I.: *Calculul repartiției cîmpului electromagnetic și al caracteristicilor liniare unilaterale cu indus din aluminiu pe fier.*
11, 430—434

CZ 621. 313. 333. 2. 044.5

7.19. Andrei, R.: *Motorul sincron liniar de mare viteză cu canal axial în indus.*
10, 379—384

CZ 621. 313. 8.: 621. 791. 75

7.20. Popescu, C.: *Perfecționarea surselor rotative pentru sudarea electrică cu arc în curent continuu.*
8, 320—324

CZ 621.313

7.21. G. K. Jerve: *Incercările mașinilor electrice rotative* (Recenzie — M. Condruc)
7, 286—287

CZ 621.313

7.22. Referate: 1 (2); 2(2); 3(2), 4(4), 6(2), 7(1), 9(2), 11(4), 12(1).

8. CZ 621.314 Transformarea energiei electrice. Transformatoare. Convertizoare. Redresoare. Comutatrice.

CZ 621.314.2.015.33 :681.32

8.1. Răducan, I. și Călin, Gh. *Calculul repartiției inițiale a tensiunii de impuls în transformatoarele de putere, utilizînd calculatoare cifrice.*
5, 180—184

CZ 621. 314. 2. 026. 543. 001. 36.

8.2. Liculescu, N. și Cojocaru, I. *Soluții noi în proiectare și tehnologie, mijloc eficient de reducere a consumului de metal. Seria nouă de transformatoare de distribuție* 100—1.600 *kVA*
11, 421—429

CZ 621.314.21.001.57.621.3.064.1

8.3. Pesici, M.: *Durata de viață a înfășurărilor la transformatoare destinat încercărilor de scurtcircuit.*
4, 145—150

CZ 621.314.263

8.4. Ghiță Constantin. *Asupra calculului, analitic a dublorului feromagnetic de frecvență.*
2, 56—62

CZ 621. 314.263.621.314.637

8.5. Zitron, M., Tiucă, M. și Gagea, Al. *Sinteza septuplorului feromagnetic static monofazat de frecvență.*
6, p 223—229

CZ 621.314

8.6. *Autotransformatoare trifazice de* 400 *MVA* (Realizări din industrie. M. Liculescu)
4, 163—164

CZ 621.314.2

8.8. Referate. 1(1), 6(3), 7(3), 9(2)

9. CZ 621.315 Transmisia energiei electrice. Linii aeriene. Cable. Conductoare. Materiale izolante, Materiale de instalații.

CZ 621.315.2.002/004

9.1. Cruceru, C.: *Tendințe actuale în construcția și utilizarea cablurilor de energie și telecomunicații utilizate în rețelele electrice de forță și de telecomunicații.*
1, 33—42

CZ 621.315.3

9.2. Cruceru, C: *Aspecte cu privire la contrucția și utilizarea cablurilor criogene în rețelele și sistemele electroenergetice.*
12, 458—464

CZ 621. 315.611 :537.533.3

9.3. Hafner,A. *Utilizarea microscopiei electronice la studiul structurii materialelor electrotehnice și electronice.*
5,191—197

CZ 621.315.621.67 :614.73

9.4. Nicola, Gr.: *Materiale stratificate, rezistente la temperaturi înalte, realizate în țară.*
5, 186—190

CZ 621.315.622—742 : 621.317.331

9.5. Vascan, Th. Tendler, M., Maricaru, M. și Rucinschi, D.: *Incercări artificiale privind comportarea izolatoarelor poluate.*
2, 63—74

CZ 621.35

9.6. *O nouă metodă de verificare a calității izolației tablei silicioase, aplicată la Uzinele Electroputere* (Noi tehnologii M. Liculescu)
5, 203

CZ 621.315

9.7. Ionescu, Cornelia: *Contribuții teoretice și experimentale la studiul curenților cvasistaționari în conductoare masive drepte* (Teză de doctorat. Conducător științific Acad. prof. dr. docent Remus Răduleț)
9, 368

CZ 621.315.6

9.8. Referate: 1(2), 2(1), 11(1)

10. CZ 621. 316. Distribuirea energiei electrice. Rețele. Redeschiderea și închiderea circuitelor. Reglarea mărimilor electrice. Protecția aparatelor și instalațiilor.

CZ 621. 316. 5. 014. 32. 538. 32

10.1. Herșcovici, B.: *O metodă sintetică indirectă pentru determinarea forțelor electrodinamice în căile d curent.*
1, 10—14

CZ 621.316.57.621.3.015

10.2. Truşcă, V.: *Transmisia căldurii prin piciorul arcului electric în camere de stingere ale aparatelor de comutație de joasă tensiune.*
12, 464—470

CZ 621.316

10.3 G. A. Kukekov: *Intreruptoare de curent alternativ de înaltă tensiune* (Recenzie-B. Mathé, E. Mihalcea și Gr. Gavrilă)
9,369—370

CZ 621.316.7 + 621.317.7.004.86

10.4. Slapciu, G., Boboc, D. și Iancu, E.: *Repararea aparatelor electrice de măsură și control* (Recenzie M. Rădulescu)
10, 368

CZ 621. 316

10,5 Referate: 2(1), 3(1), 4(1), 7(1).

11. CZ 621. 317. Tehnica măsurilor electrice. Aparate de măsură

CZ 621. 317. 311. 082. 74

11.1. Stoica, A,: *Contribuții la studiul instalațiilor pentru măsurarea curentului continuu intens prin compensarea automată a amperspirelor. Conducător științific,* prof. ing. Alexandru Popescu (Teză de doctorat).
1,43—44

CZ 621.317.72.015.33. 621.316.57. 064.31

11.2. Hortopan, Gh.: *Performanțele divizorului de tensiune mixt, serie* R—C
2, 74—79

CZ 621.317.2.027.8.005 (498.21)

11.3. Mirinescu, A. și Cîrstea. D,: *Noul laborator de naltă tensiune al uzinelor Electroputere Craiova.*
6, 229—241

CZ 621.317.726.085.4 :621.382.2

11.4. Brașovan, I., Storociuc, M., Harko, St.: *Voltmetru de tensiune alternativă cu scara extinsă cu diode Zener.*
5, 197—201

CZ 621.317.735 (498)

11.5 Antoniu, M.: *Un megohmmetru tranzistorizat de 5 000 V realizat în țară.*
10, 396—404

CZ 621. 317. 8.016.1

11.6. Golovanov Carmen: *Asupra relației de calcul al cuplului activ al contoarelor monofazate de inducție.*
1,15—23

CZ 621.317

11.7 Vasile Truşcă: *Asupra proceselor de stingere a arcului electric în aparatele de comutație de joasă tensiune* (Teză de doctorat, conducător științific — Prof. dr. ing. Gh. Hortopan).
8,332

CZ 621.317

11.8. *Curs pentru pregătirea muncitorilor metrologi autorizați* (Recenzie — Doina Boboc).
9,369

12. CZ. 621. 318. Aplicații industriale ale magnetismului și magneților. Electromagneți. Relee.

CZ 621.318.33 Li

12.1. Nicolau, P. Klein, A. și Vărzaru, Emilia: *Ferite de litiu pentru memorii magnetice.*
1, 24—27

CZ 621.318.34.681.14

12.2. Popa, I.: *Cu privire la calculul registrelor de deplasare tritact cu ferite.*
6. 241—246

CZ 621.318

12.3. Aurelian Crăciunescu: *Studiul procesului de magnetizare a unor materiale feromagnetice în regim variabil, cu aplicații la regimul tranzitoriu al unor elemente ale circuitelor magnetice* (Teză de doctorat. Conducător științific Acad. prof. dr. docent ing. Remus Răduleț
9, 368

13.CZ 621. 319 Aplicații industriale ale electrostaticii condensatoare.

CZ 621. 319.41.083.72

13.1. Râulescu, I.: *Funcționarea intermitentă a condensatoarelor.*
1,27—33

CZ 621.319

13.2. Ionel, Râulescu: *Durata de viață a condensatoarelor electrolitice și cu hîrtie* (Teză de doctorat Dr.ing. Florin Tănăsescu.)
9,368

CZ 621.319.3 Mașini electrostatice
13.3. Referate :2 (1)

14.CZ 621.33 Tracțiune electrică

CZ 621.333.001.5
14.1. Nicolescu,E.: *Optimizarea dimensionării motoarelor de tracțiune pe baza performanțelor cerute vehiculelor.*
8, 297—303

CZ 621.335. 625.282.83
14.2 Negreanu, A.: *Sporirea posibilităților de utilizare a materialului rulant electric prin slăbirea cîmpului inductor.*
4,151—155

CZ 621.335.2.014.32 :621.3.024

14.3. Oprișor M. și Teodor, Gh.: *Unele concluzii privind efectele electrodinamice asupra osiei dispuse pe șine alimentate în curent continuu.*
10, 385—390

CZ 621.337.522

14.4. Oprișor. M.: *Aplicarea frînării cu recuperare la tramvaiul I.T.B.provincie.*
3, 119—127

CZ 621.34. :621.314.57 :621.382.3

14.5. Țopa, I.: *Arbore electric cu recuperarea electromagnetică a energiei de alunecare.*
11, 434—439

CZ 621.335.4 Automotoare

14.6.Referate : 6(1)

15. CZ 621.35 Electrochimie

CZ 621.352.6.016.36

15.1. Mavrodin-Tărăbîc Maria, Onaca Ioana şi Solacolu, I.: *Pile cu combustibil lichid, surse chimice de curent cu eficienţă superioară.*

10, 391–395

CZ 621.357.2.Cu

15.2. Radovici, O, Vass, Cecilia şi Solacolu, I.: *Depuneri lucioase de cupru pe aliaje de zinc din băi de pirofosfaţi.*

7,271–276

16.CZ.621.365 Generarea căldurii

CZ 621.365

16.1 Marinescu, Matei: *Pila de combustie şi pila termoelectrică*

12, 470–476

CZ 621.363.5. Generarea căldurii prin inducţie.

16.2. Referate: 6(1)

17.CZ.658.5 Procese tehnologice

CZ 658.516

17.1. Ghinăraru, M.: *Unificarea şi tipizarea proceselor tehnologice de bază prin sistematizarea acestora.*

8, 324–326

18.628.9 Tehnica iluminatului

18.1. Referate: 1(1)

19.621.382.3 Tranzistoare

Referate: 6(1).

Index alfabetic de autori

A

Andrei Greta: 1.1; 1.2
Andrei Radu: 7.15, 7.19
Antoniu M.: 11.5
Avramescu A.: 4.17

B

Barbu C.: 6.8
Boboc Doina: 11.8
Boldea I.: 7.18
Braşovan I.: 11.4
Bunea V.: 7.2
Burcea T.: 7.12

C

Călin Gh.: 7.3; 8.1
Călinescu S.: 7.10
Ciulă A.: 7.4
Cîrstea D.: 4.13; 11.3
Cojan M.: 7.5
Cojocaru I.: 8.2
Condruc M.: 7.21
Constantin Maria: 1.4; 1.5
Constantinescu V.: 7.10
Corlăţeanu V: 1.6; 7.15
Crăciun M.: 7.10
Crăciunescu, A.: 3.1; 4.4; 7.9; 7.16
Cruceru, C.: 2.3; 9.1; 9.2
Curelaru A.: 4.13

D

Darabont Alex.: 7.1
Diaconescu M.: 7.14;
Dobraniş, A: 7.17

G

Gagea Al.: 8.5
Gavrilă G.: 10.3
Ghinăraru M.: 17.1
Ghiţă Constantin: 8.4
Gîrlaşu St.: 8.6
Golovanov Carmen: 4.6; 11.6

H

Hafner A.: 9.3
Harko, St.: 11.4
Herşcovici, B.: 10.1
Hortopan Gh.: 4.11; 11.2

K

Klein, A.: 12.1

L

Liculescu M.: 8.2; 8.7, 9.6

M

Macrea D.: 7.8
Maricaru M.: 9.5
Marinescu A.: 6.1; 11,3
Marinescu M.: 2.2; 16.1
Mathé B.: 10.3
Mavrodin-Tărăbîc Maria: 15.1
Măgureanu R.: 2.1; 5.1; 7.8
Mihalcea E.: 10.3
Moga V.: 7.4

N

Negreanu A.: 14.2
Nicola Gr.: 9.4
Nicolau, P.: 12.1
Nicolescu E.: 14.1

O

Opaschi M.: 7.6
Oprescu T.: 6.10
Oprişor M.: 7.14; 14.3; 14.4

P

Pesici M.: 8.3
Poenaru D.N.: 4.2;
Popa I.: 12.2
Popescu C.: 7.20

R

Radovici O.: 15.2
Rarinca O.: 4.13
Răducan I.: 8.1
Rădulescu N.: 10.4
Răduţ C.: 4.3; 7.13
Răulescu, I.: 13.1
Rotileanu P.: 4.13
Rucinschi D.: 9.5
Rusu A.: 7.11

S

Sasu Mimi: 4.7; 4.8; 4.9; 4.10:
Solacolu I.: 15.2
Slorosciuc, M.: 11.4
Suciu I.: 4.15
Şerbănescu M.: 4.5

T

Tănăsescu Fl.: 4.12; 4.16
Tendler, M.: 9.5
Teodor Gh.: 14.3
Ţiucă M.: 8.5
Topa I.: 14.5
Truşcă V.: 4.1; 4.11; 10.2
Turcu I.: 7.11

V

Vascan Th.: 9.5
Vass Cecilia: 15.2
Văiteanu D.:7.1
Vărzaru Emilia: 12.1

Z

Zamfir Gh.: 6.7
Zitron N.: 8.5

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.312(09)(498)

Тэнэсеску, Фл.: **Достижения и перспективы в области электротехники, к 26-ой годовщине провозглашения Республики.**

Electrotehnica **21**, №. 12, дек. 1973, стр. 445–452

ДК 621.313.32.045.3

Добраниш, А. и *Мэгуряну, Р.*: **О характеристиках синхронных машин с двуосным возбуждением.**

Electrotehnica **21**, № 12, дек. 1973, стр. 453–458

В продолжение предыдущей статьи, показана экспериментально и при помощи расчета возможность работы синхронной машины с двуосным возбуждением при высоких углах нагрузки, около 180°, которым отвечают значительные реактивно-емкостные нагрузки. Приводится метод, применяемый для решения системы уравнений этого типа машины на цифровой вычислительной машине, причем результаты расчета сравниваются с результатами, полученными на физической, лабораторной модели.

ДК 621.312.2 :621.59 :621.311.1

Кручеру, К.: **Аспекты изготовления и применения криогеновых кабелей в электроэнергетических сетях и системах.**

Electrotehnica **21**, № 12, дек. 1973, стр. 458–464

Работа содержит аспекты в связи с конструкцией и применением криогеновых кабелей в электрических сетях высокого и сверхвысокого напряжения. Описываются конструктивные элементы этих кабелей и отмечаются преимущества их применения с технической и экономической точек зрения. Для иллюстрирования технического значения применения криогеновых кабелей, указываются новые достижения в этой области, в мировом масштабе, а также перспективы их освоения в Румынии.

ДК 621.316.53.027.2 :621.3.014.31 :621.3.017.7

Трушкэ, В.: **Теплопередача через ножку электрической дуги в гасительной камере коммутационных приводов низкого напряжения.**

Electrotehnica **21**, № 12, дек. 1973, стр. 464–470

В статье рассматривается вопрос в связи с теплопередачей через ножку электрической дуги, в коммутационных устройствах низкого напряжения. Это имеет значение для определения функции извлечения тепла из колонны электрической дугй, в зависимости от местных условий и конструктивного типа гасительной камеры.

ДК 621.351 :536.46.001.2

Маринеску, М.: **Нагревательный элемент и термоэлектрический элемент.**

Electrotehnica **21**, № 12, дек. 1973, стр. 470–476

Излагаются некоторые новые достижения и направления дальнейших иследований непосредственного преобразования первичного топлива в электрическую энергию, а также непосредственного преобразования тепла в электроенергию.

ДОСТИЖЕНИА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 476

НАУЧНЫЕ И ТЕХНИГЕСКИЕ НОВОСТИ 477–479

УКАЗАТЕЛЪ СТАТЕЙ И АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЪ АВТОРОВ 480–484

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.312 (09) (498)

Tănăsescu, Fl.: **Verwirklichungen und Aussichten auf dem elektrotechnischen Gebiet anlässlich dem 26-ten Jahrestag der Proklamation der Republik.**

Electrotehnica **21**, Nr. 12, Dez. 1973, S. 445–452

DK 621.313.32.045.3

Dobraniş, A. und *Măgureanu, R.*: **Bezüglich der Leistungen der Synchronmaschine mit Erregung auf zwei Achsen.**

Electrotehnica **21**, Nr. 12, Dez. 1973, S. 453–458

Als Fortsetzung der in einem früheren Absatz angeführten Darlegungen, wird auf experimentellen Wege und durch Berechnung die Möglichkeit des Betriebes der Synchronmaschine mit Erregung auf zwei Achsen bei an 180° angenäherte Hochwertwinkel denen bedeutende reaktive-kapazitive Belastungen entsprechen, bewiesen. Die angewandte Methode für die Lösung des Gleichungssystem der Maschine dieser Art auf einem Digitalrechner wird gezeigt und die Berechnungsergebnisse werden mit denen auf einem physischen Laboratoriumsmodell erhaltenen, vergliechen.

DK 621.312.2 :621.59 :621.311.1

Cruceru, C.: **Anblicke über Bau und Verwendung der Kriogenkabel in elektroenergetische Netze und Systeme.**

Electrotehnica **21**, Nr. 12, Dez. 1973, S. 458–464

Die Arbeit legt die Anblicke über den Bau und die Verwendung der Kriogenkabel in Hoch- und Höchstspannungsnetze vor. Es werden die Bauelemente solcher Kabel beschrieben und die Vorteile ihrer Verwendung vom technischen und wirtschaftlichen Standpunkte aus gezeigt. Um die technische Bedeutung der Verwendung der Kriogenkabel zu veranschaulichen werden die letzten Weltverwirklichungen auf diesem Gebiete sowie die Aussichten ihrer Assimilierung in Rumänien angegeben.

DK 621.316.53.027.2 :621.3.014.31 :621.3.017.7

Truşcă, V.: **Die Wärmeübertragung durch den Bogenfuss in den Löschkammern der Niederspannungsumschaltgeräte.**

Electrotehnica **21**, Nr. 12, Dez. 1973, S. 464–470

Die Arbeit bezieht sich auf der Wärmeübertragung durch den Bogenfuss in den Niederspannungsumschaltgeräte. Dies ist wichtig für die Bestimmung der Funktion der Wärmeabfuhr aus der Bogenkolonne, die durch die örtlichen Verhältnisse und die Bauart der Löschkammer bestimmt ist.

DK 621.351 :536.46.001.2

Marinescu, M.: **Das Verbrennungselement und das thermoelektrisches Element.**

Electrotehnica **21**, Nr. 12, Dez. 1973, S. 470–476

Es werden einige neue Verwirklichungen und die Forschungsrichtungen in der nahe Zukunft der direkten Umwandlung der Primärbrennstoffe in elektrische Energie sowie die der direkten Umwandlung der Wärme in elektrische Energie vorgelegt.

VERWIRKLICHUNGEN AUS DER INDUSTRIE 476

WISSENSCHAFTLICHE UND TECHNISCHE EREIGNISSE 488–479

JAHRESINHALTSVERZEICHNIS UND VERRFASSERINDEX 480–484

SOMMAIRE

CD 621.312 (09) (498)

Tănăsescu, Fl. : **Réalisations et perspectives dans le domaine électrotechnique, au 26-ème anniversaire de la proclamation de la République.**

Electrotehnica **21**, no. 12, dec. 1973, p. 445–452

CD 621.313.32.045.3

Dobraniş, A. et *Măgureanu, R.*: **En ce qui concerne les performances de la machine synchrone à excitation sur deux axes.**

Electrotehnica **21**, no. 12, dec. 1973, p. 453–458

Continuant les faits exposés dans un article antérieur on démontre, par voie expérimentale et de calcul, la possibilité du fonctionnement de la machine synchrone à excitation sur deux axes, à des angles de charge de grandes valeurs, proches de 180°, auxquels correspondent des charges réactives-capacitives importantes. On présente la méthode utilisée pour résoudre le système d'équations d'une machine de ce type sur un calculateur numérique, les résultats du calcul étant confrontés avec ceux obtenus sur un modèle physique, de laboratoire.

CD 621.312.2 :621.59 :621.311.1

Cruceru, C. : **Aspects concernant la construction et l'utilisation des câbles cryogéniques dans les réseaux et les systèmes électroénergétiques.**

Electrotehnica **21**, no. 12, dec. 1973, p. 458–464

L'ouvrage presente les aspects concernant la construction et l'utilisation des câbles cryogéniques dans les réseaux électriques de haute et de très haute tension. On décrit les éléments constructifs de certains de ces câbles et on montre les avantages de leur utilisation, du point de vue technique et économique. Pour illustrer l'importance technique de l'utilisation des câbles cryogéniques, on indique les récentes réalisations dans ce domaine sur le plan mondial, ainsi que les perspectives de leur assimilation en Roumanie.

CD 621.316.53.027.2 :621.3.014.31 :621.3.017.7

Truşcă, V. : **La transmission de la chaleur à travers la partie inférieure de l'arc électrique, (le pied) dans les appareils de commutation de basse tension.**

Electrotehnica **21**, no. 12, dec. 1973, p. 464–470

Ceci présente de l'importance pour la détermination de la fonction d'extraction de la chaleur à partir de la colonne de l'arc électrique, qui est déterminée à son tour par les conditions locales et par le type constructif de la chambre d'extinction.

CD 621.351 :536.46.001.2

Marinescu, M. : **La pile de combustion et la pile thermo-électrique.**

Electrotehnica **21**, no. 12, dec. 1973, p. 470–476

On présente quelques réalisations récentes et les directions des recherches que l'on effectuera bientôt concernant la conversion directe des combustibles primaires en énergie électrique, ainsi que la transformation directe de la chaleur en énergie électrique.

REALISATIONS DANS L'INDUSTRIE 476

MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES 477–479

SOMMAIRE ANNUEL ET INDEX ALPHABETIQUE SELON LES AUTEURS 480–484

CONTENTS

DC 621.312(09)(498)

Tănăsescu, Fl. : **Achievements and Prospects in Electrical Engineering, summed up on the occasion of the 26 th Anniversary of the Republic**

Electrotehnica **21**, No. 12, Dec. 1973, p. 445–452

D.C.621.312(09)313.32.045.3

Dobraniş, A. and *Măgureanu, R.* : **About the performances of the doubleshaft excitation synchronous machine.**

Electrotehnica **21**, No. 12, Dec. 1973, p. 453–458

Continuing the description started in a previous article, the authors demonstrate by experiments and calculations that a double-shaft excitation synchronous machine can operate at high value load angles, close on 180°, to which correspond important reactive-capacitive loads.
The authors show the method used in resolving the system of equations of this type of machine, making use of a digital computer. The calculus results are compared with those obtained with a physical laboratory model.

DC 621.312.2 :621.59 :621.311.1

Cruceru, C. : **About the construction and utilization of cryogenic cables in electroenergetic systems and networks.**

Electrotehnica **21**, No. 12, Dec. 1973, p. 453–458

The paper presents the building and utilization of cryogenic cables in high and very high voltage networks, describing the constructive elements of such cables, showing the technical and economic advantages they offer. To illustrate the technical importance of cryogenic cables, the author presents some recent achievements in the world, discussing the prospects of their use in Romania.

DC 621.316.53.027.2 :621.3.014.31 :621.3.017.7

Truşcă, V. : **Heat transmission through the stem of the electric arc in the blowout chambers of low voltage commutation apparatuses.**

Electrotehnica **21**, No. 12, Dec. 1973, p. 464–470

The paper deals with heat transmission through the stem of the electric arc in low voltage commutation apparatuses. This is important in determining the function of heat recovery from the arc core, which depends on local conditions and the blowout chamber design.

DC 621.351 :536.46.001.2

Marinescu, M. : **Ignition cells and thermoelectric piles.**

Electrotehnica **21**, No. 12, Dec. 1973, p. 470–476

The author presents some recent achievements and near future research trends in the field of direct conversion of primary fuels into electric energy and direct transformation of heat into electric power.

INDUSTRIAL ACHIEVEMENTS 476

SCIENTIFIC AND TECHNICAL EVENTS 477–479

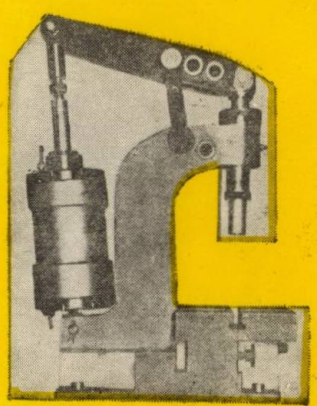
ANNUAL TABLE OF CONTENTS AND ALPHABETICAL AUTHOR INDEX. 480–484

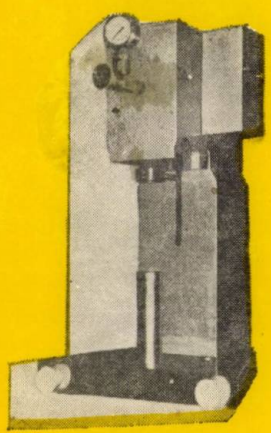
ELECTROtimiș

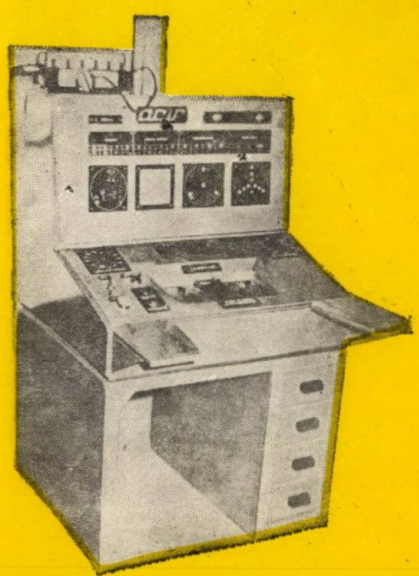
FABRICA
DE MATRIȚE, SCULE
ȘI UTILAJE
TEHNOLOGICE
PENTRU INDUSTRIA
ELECTROTEHNICĂ

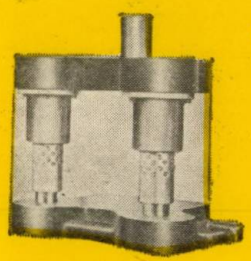
PRODUCE:

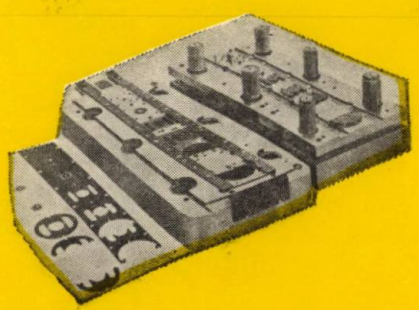
- agregate și linii tehnologice
- utilaje pentru operații de bobinaj
- utilaje pentru prelucrări mecanice
- standuri
- prese hidraulice și pneumatice
- utilaje pentru operațiile de debitare
- utilaje pentru montaj și asamblare
- ștanțe, matrițe, cochilii









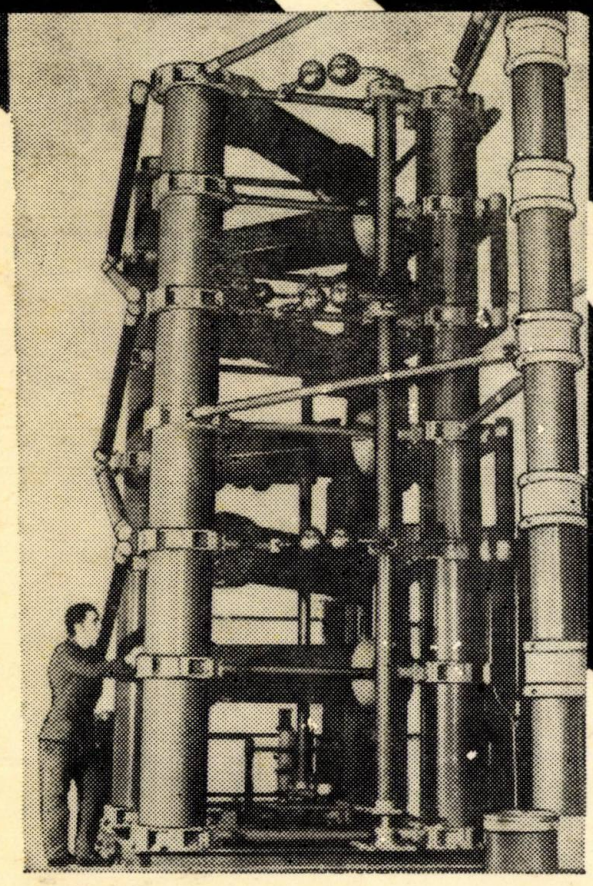


TIMIȘOARA

- Calea Buziașului nr. 15
- telefon 15820

INSTITUTUL DE CERCETARE ȘI PROIECTARE PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICA

Institut decorat cu ordinul muncii clasa I



Intenționați desigur să vă diversificați produsele pe care le fabricați, pentru a fi tot mai competitive.

Cu siguranță că vă puneți problema caracterizării unor materiale pe care le utilizați în producție, pe care ați dori poate să le înlocuiți cu altele mai bune sau mai ieftine.

Poate nu vă este indiferentă calitatea și fiabilitatea produselor dv., doriți standuri de încercări și metode care să vă dea, în orice moment, indicații asupra nivelului tehnic la care ați ajuns cu produsele?

Exportați produse. Vreți să știți ce-ar trebui făcut pentru ca p.odusele pe care le realizați să reziste corect la climatele cele mai diferite?

La toate aceste întrebări ca și la alte probleme din domeniul electrotehnic vă poate răspunde Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) care în această perioadă își întocmește planul de cercetări, angajîndu-se să rezolve problemele ce vă interesează.

Institutul dispune de aparatură și standuri de încercări moderne, specialiști de înaltă calificare, ateliere proprii de construcții prototipuri, o experiență de 20 de ani în activitate, care pledează în favoarea încrederii pe care puteți să i-o acordați.

ICPE

BUCUREȘTI, — BD. T. VLADIMIRESCU 45-47 — TELEFON 31.41.00